

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Návrh ražby chodby v migmatických horninách

Design of Gallery Excavation in Migmatic Rocks

Student:

Jan Valášek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

Ostrava 2020

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Valášek**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Návrh ražby chodby v migmatických horninách**
Design of Gallery Excavation in Migmatic Rocks
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1, Úvod
- 2, Přehled současného stavu
- 3, Návrh technologického postupu ražby
- 4, Zhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Klepsatel, F. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Jaga Bratislava 2003
Exner, K. *Ražení důlních děl*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991, 240 s. ISBN 80-707-8077-0.
Pravda, V., Bětík, J. *Trhací práce v hornictví, stavebnictví a speleologii*. Jesenice u Prahy: Montanika o.s., 2010. ISBN: 978-80-254-8542-2.
Klepsatel, F. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Jaga Bratislava 2003
Valachovič, F. *Razenie banských diel.*, Alfa, Bratislava 1977.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2020

Datum odevzdání: 30.04.2021

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval/la samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.“

V Ostravě, dne

Jan Valášek

Prohlašuji:

- Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Lukášovi Ďurišovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Anotace

Tato bakalářská práce se zaměřuje na návrh ražení podzemního díla ve specifických podmínkách tvrdých skalních hornin. Úvodem se zabývám horninami a jejich vznikem. V další části ražením předchozích chodeb laboratoře a prostředím v kterém se realizují. Dále teorií konvenčního ražení a hlavních cyklických operací. V praktické části bakalářské práce se věnuji komplexním technologickým návrhem horizontální chodby.

Klíčová slova: hornina, Bukov, trhací práce, odkliz, vrtání, vyztužování

Annotation

This bachelor's thesis focuses on the design of the underground work in specific conditions of hard rock. At the beginning, I deal with rocks and their formation. In the next part, by stamping the previous corridors of the laboratory and the environment in which they are realized. Furthermore, the theory of conventional stamping and major cyclical operations. In the practical part of the bachelor's thesis, I deal with the complex technological design of the horizontal corridor.

Key words: rock, Bukov, blasting, clearing, drilling, reinforcing.

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod..... | 1 |
| 2. Přehled současného stavu | 2 |
| 2.1. I. Etapa PVP Bukov | 2 |
| 2.2. II. Etapa PVP Bukov | 5 |
| 2.3. Geologické poměry v prostoru PVP Bukov | 6 |
| 3. Operace razicího cyklu..... | 8 |
| 3.1. Operace vrtání vývrtů | 9 |
| 3.2. Operace trhacích prací | 12 |
| 3.3. Odkliz horniny | 15 |
| 3.4. Vyztužování..... | 17 |
| 4. Návrh technologického postupu ražby..... | 18 |
| 4.1. Návrh trhacích prací | 18 |
| 4.2. Návrh elektrického roznětu | 24 |
| 4.3. Operace vrtání - strojní vrtání..... | 27 |
| 4.4. Operace trhací práce | 29 |
| 4.5. Operace odtěžení | 31 |
| 4.6. Operace vyztužení - svorníková výztuž..... | 33 |
| 5. Závěr | 35 |
| Seznam zdrojů knižní literatury | 37 |
| Seznam internetových zdrojů | 37 |
| Seznam obrázků | 40 |
| Seznam tabulek | 41 |
| Přílohová část | 1 |

Seznam zkratk a proměnných

| symbol | název (jednotka) |
|-----------------------|--|
| F_{sv} | světlá plocha díla (m^2) |
| F_{hr} | plocha hrubého díla (m^2) |
| f | protodjakonova konstanta |
| a | rozteč zálomových dvojic (m) |
| α | úhel zálomových vývrtů ($^\circ$) |
| N_z | počet zálomových vrtů |
| z_z | zabírka zálomu (m) |
| D_{min} | omezující rozměr díla (m) |
| l_z | délka zálomového vrtu (m) |
| R | vzdálenost ústí zálomových vývrtů od osy zálomů (m) |
| z_{sk} | skutečná zabírka (m) |
| k_p | koeficient využití |
| γ | hustota trhaviny [$kg \cdot m^{-3}$] |
| V_0 | specifický objem zplodin [$m^3 \cdot kg^{-1}$] |
| R_T | výduť v trauzlu [cm^3] |
| dn | průměr náložek [mm] |
| Q_l | hmotnost náložek [kg] |
| ln | délka náložek [m] |
| %CO; %NO _x | toxické plyny [%] |
| qstř | střední měrná spotřeba trhaviny [$kg \cdot m^{-3}$] |
| Q_c | celková hmotnost nálože na čelbě [kg] |
| Q_z | hmotnost nálože v zálomu [kg] |
| Q_p | hmotnost nálože v pomocných vývrtech [kg] |
| q_z | měrná spotřeba trhaviny v zálomu [$kg \cdot m^{-3}$] |
| q_p | měrná spotřeba trhaviny v pomocných vývrtech [$kg \cdot m^{-3}$] |
| N_c | celkový počet vývrtů na čelbě |
| N_p | počet pomocných vývrtů na čelbě |
| w_{max} | rozmístění pomocných vývrtů v čelbě [m] |
| $k_{\%CO}$ | počáteční koncentrace CO [%] |
| V | objem [m^3] |
| V_0 | specifický objem plyných zplodin [$m^3 \cdot kg^{-1}$] |
| t_p | pomocný čas na 1. vývrt [min] |
| v_{ef} | efektivní vrtná rychlost [$cm \cdot min^{-1}$] |
| T_{pz} | doba na přípravu a ukončení práce [min] |

| | |
|-----------|--|
| p | počet současně pracujících kladiv na čelbě |
| l | průměrná délka vývrtu [m] |
| N | počet vrtů |
| α | koeficient spoluúčinnosti kladiv |
| t_n | normativ pro nabití jednoho vývrtu [min] |
| t | čekací doba po odstřelu [min] |
| L | kritická délka lutnového tahu [m] |
| v_p | předpokládaný denní postup |
| z | předpokládaný počet použití luten |
| λ | třecí koeficient luten |
| d | navržený průměr luten |
| γ | měrná hmotnost důlních větrů [kg.m ⁻³] |
| η | účinnost ventilátorů |
| k | koeficient spoluúčinnosti nakladačů |
| t_n | doba trvání 1. pracovního cyklu lžíce [min] |
| t_v' | průměrná doba výměny vlakové soupravy [min] |
| i | počet vozů ve vlaku |
| t_{pr} | doba průjezdu výhybkou [min] |
| P_{sk} | výkon nakládání [m ³ .hod ⁻¹] |
| N_{pz} | normativ pro přípravu a zakončení operace |
| N_p | normativ pro pomocné operace |

1. Úvod

Téma bakalářské práce je „*Návrh ražby chodby v migmatických horninách*“. Cíl práce je zaměřen na návrh ražení podzemního díla ve specifických podmínkách tvrdých skalních hornin.

Hornina v geologickém smyslu je konglomerát jednotlivých minerálních zrn, které jsou k sobě poutány vazebnými silami. V geotechnickém smyslu je to hmota, ze které je tvořen obal země a která je výsledkem nějakých procesů.

Máme tři základní skupiny hornin, které dělíme podle jejich vzniku na vyvřelé (magmatické), usazené (sedimentární) a přeměněné (metamorfované). Metamorfované horniny vznikají ze všech typů hornin působením vysokých teplot a tlaků.

Jednou z takových přeměněných hornin jsou migmatity. Tvoří je dvě základní složky granity a ruly. Granit (žula) je hornina, která obsahuje podstatné množství křemene. Ruly jsou horniny vzniklé za vysokého stupně regionální metamorfózy při přeměně rozsáhlých horninových celků, kde teplota a tlak dosahují velkých hodnot. [22]

S těmito podmínkami se můžeme setkat například na uranových dolech Rožná. Důl Rožná byl hlubinný uranový důl u obce Rožná. Těžba započala v roce 1957 a na začátku 21. století už to byl poslední uranový důl v Evropě. Práce v dolech byla ukončena v roce 2017.

Práce se inspirovala současnou ražbou druhé etapy podzemního výzkumného pracoviště, které se uskutečňuje právě v místě bývalého dolu Rožná. Praktická část se bude zabývat návrhem technologického postupu ražby chodby ve vyvřelých horninách, kdy hornina má větší pevnost než 150 MPa.

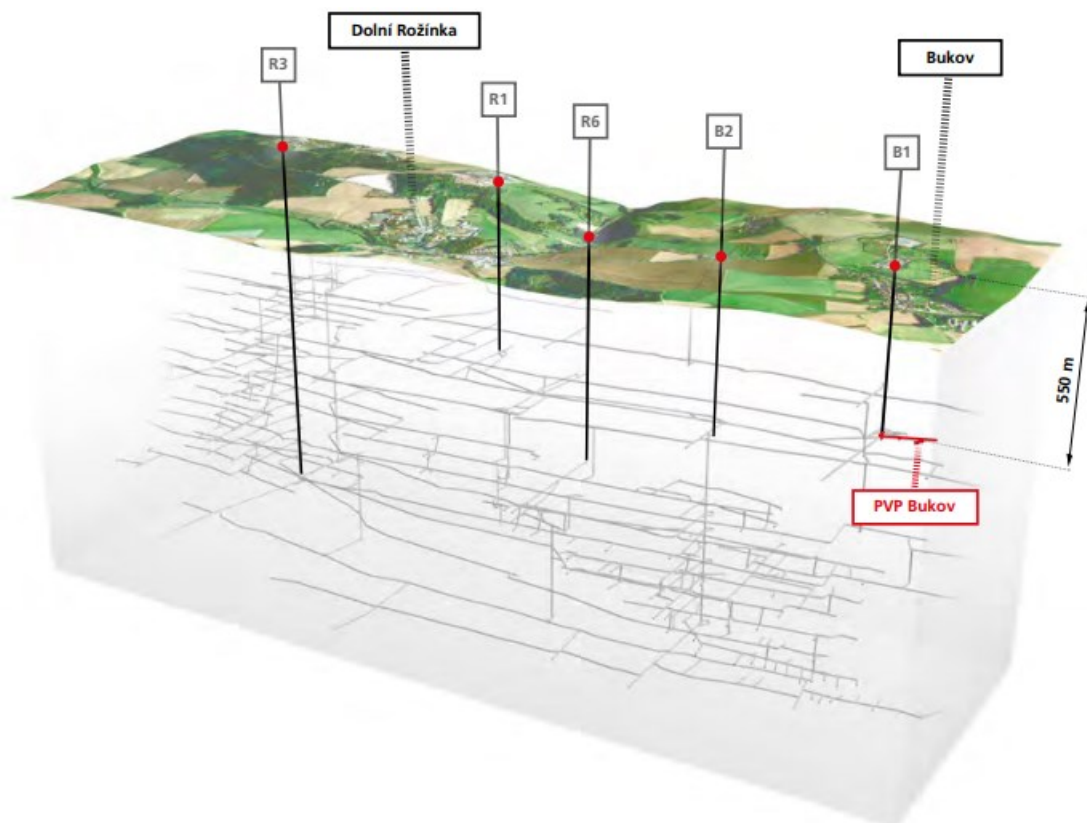
2. Přehled současného stavu

Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO) má ve shodě s vládním povolením *Koncepci nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem* a s platnou legislativou povinnost zhotovení českého hlubinného úložiště (HÚ) vysokoaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva. V kontextu s rozvíjením hlubinných úložišť jsou ve světě provozovány podzemní laboratoře, které mají významnou roli v rozvojových, demonstračních a studijních aktivitách. [8]

Podzemní laboratoře jsou využívány v oblasti ověřování robustnosti inženýrských bariér, poslouží k sehnání deskriptivních multidisciplinárních geovědních informací a dat pro bezpečnostní analýzy. Neméně významným dílem výzkumných činností je také potvrzení vhodných metodik charakteristiky a hodnocení horninového masivu, měření a modelování postupů v horninovém masivu nebo vzdělávání vysoce kvalifikovaných odborníků. Získané informace a znalosti pak mají důležitou roli v postupu hodnocení případných lokalit HÚ pro optimalizaci inženýrsko-technických a stavebních postupů a ve význačné řadě pro zvýšení specializované úrovně národních programů a možností zapojení do mezinárodní kooperace. [5,11,14]

2.1. I. Etapa PVP Bukov

Momentálně je nejpočetnější část výzkumných činností SÚRAO v oblasti in-situ testů spojených s přípravou a plánováním HÚ směřována do Podzemního výzkumného pracoviště (PVP) Bukov. Pro tyto činnosti je využíváno 470 m speciálně vyražených prostor na 12. patře bývalého uranového dolu Rožná I, v hloubce 550 m (obr.1). Ražba podzemních prostor realizovaná společností DIAMO s. p. o. z. GEAM, byla zahájena v roce 2013 a infrastruktura I. etapy laboratoře byla kompletně dodělána v roce 2017. [11,14]



Obrázek 1 Schéma hlavních důlních děl dolu Rožná I s vyznačením pozice PVP Bukov [6]

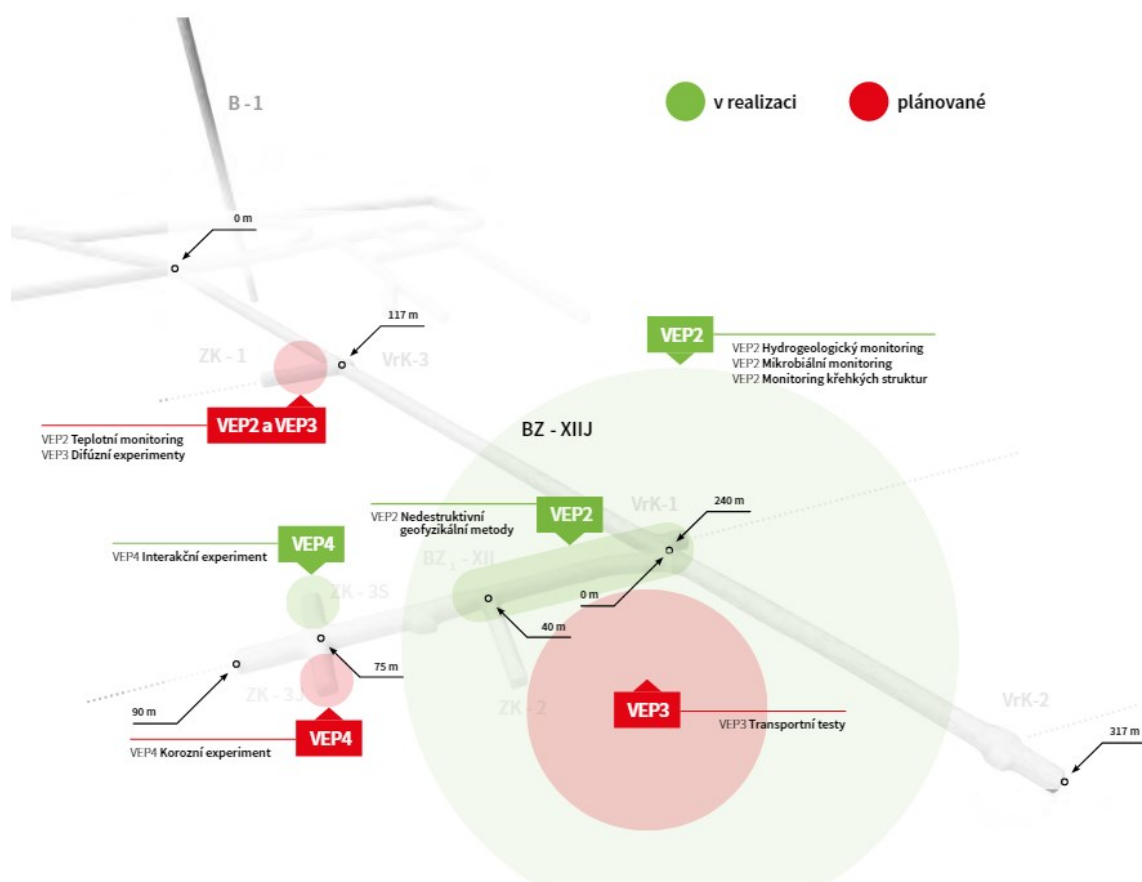
Prostory laboratoře byly vybudovány nedaleko jámy B-1, situované severně u vesnice Bukov na Vysočině. PVP Bukov je postavena v krystalinických horninách (obr.2), tedy v prostředí s velkou pevností a puklinovou propustností. Tyto horniny typově odpovídají s možnými horninami pro HÚ. Laboratoř je utvářena systémem podzemních prostor v různých geologických podmínkách dle nároků na určité experimentální činnosti. [11,14]



Obrázek 2 Ukázka výbrusů hornin z PVP Bukov [7]

A – migmatitizovaný amfibolit, B – amfibolit, C – hydrotermálně alterovaný amfibolit

Budování prostor I. etapy, během níž bylo specificky vyraženo 470 m podzemních chodeb se skládá z přístupového překopu BZ-XIII, tří vrtných komor, laboratorního překopu a čtyř zkušebních komor pro dlouholeté experimenty (obr.3). Přístupový překop je v čtené části opatřen TH obloukovou výztuží se zapažením stropů a boků, eventuálně byla pro ustálení stěn aplikována svorníková výztuž v kombinaci s tahokovem či pletivem. Laboratorní chodby jsou bez obloukové výztuže a v místech s nevhodnými orientacemi puklinových systémů byly aplikovány sklolaminátové svorníky. [11]



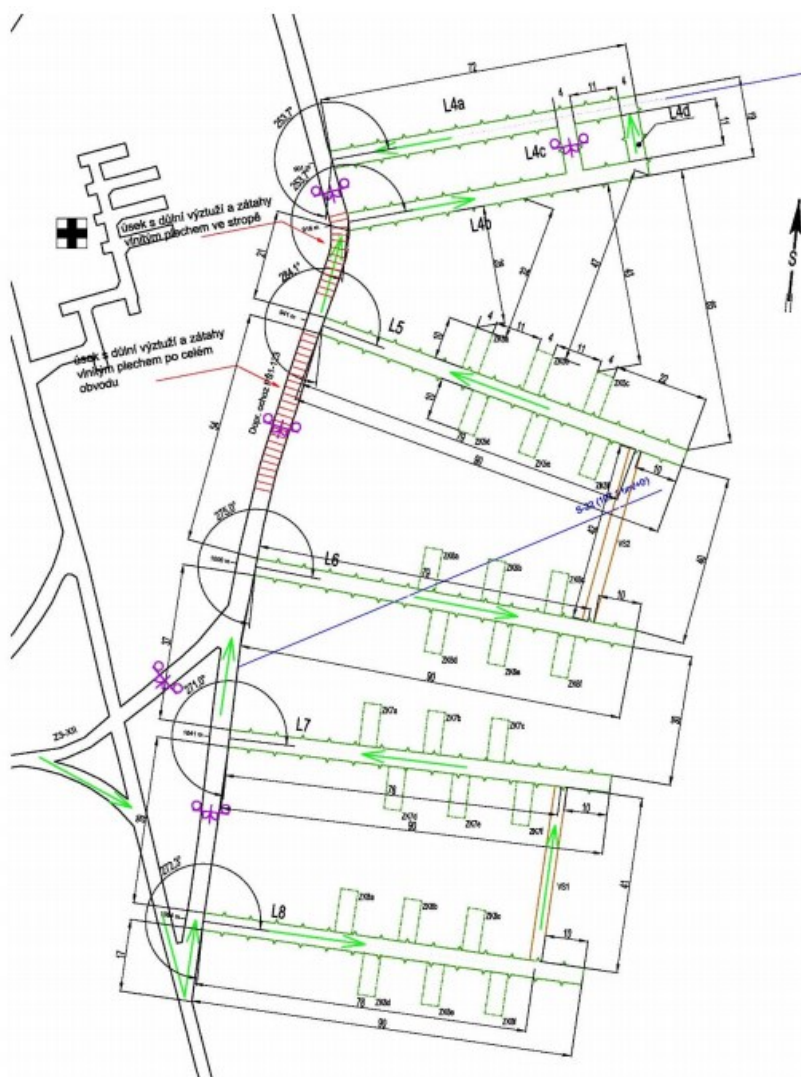
Obrázek 3 Prostorové schéma PVP Bukov s vyznačením probíhajících a plánovaných aktivit [9]

Při budování samotných laboratorních prostor byla aplikována technika obrysových trhacích prací, která poskytnula možnost razit dílo ve vysoké kvalitě bez užití výztuže. [11]

Během ražby I. etapy byla uskutečněna charakterizace horninového prostředí pro instalaci individuálních experimentů a získání dat jedinečných při otevření horninového masivu ražbou. [11]

2.2. II. Etapa PVP Bukov

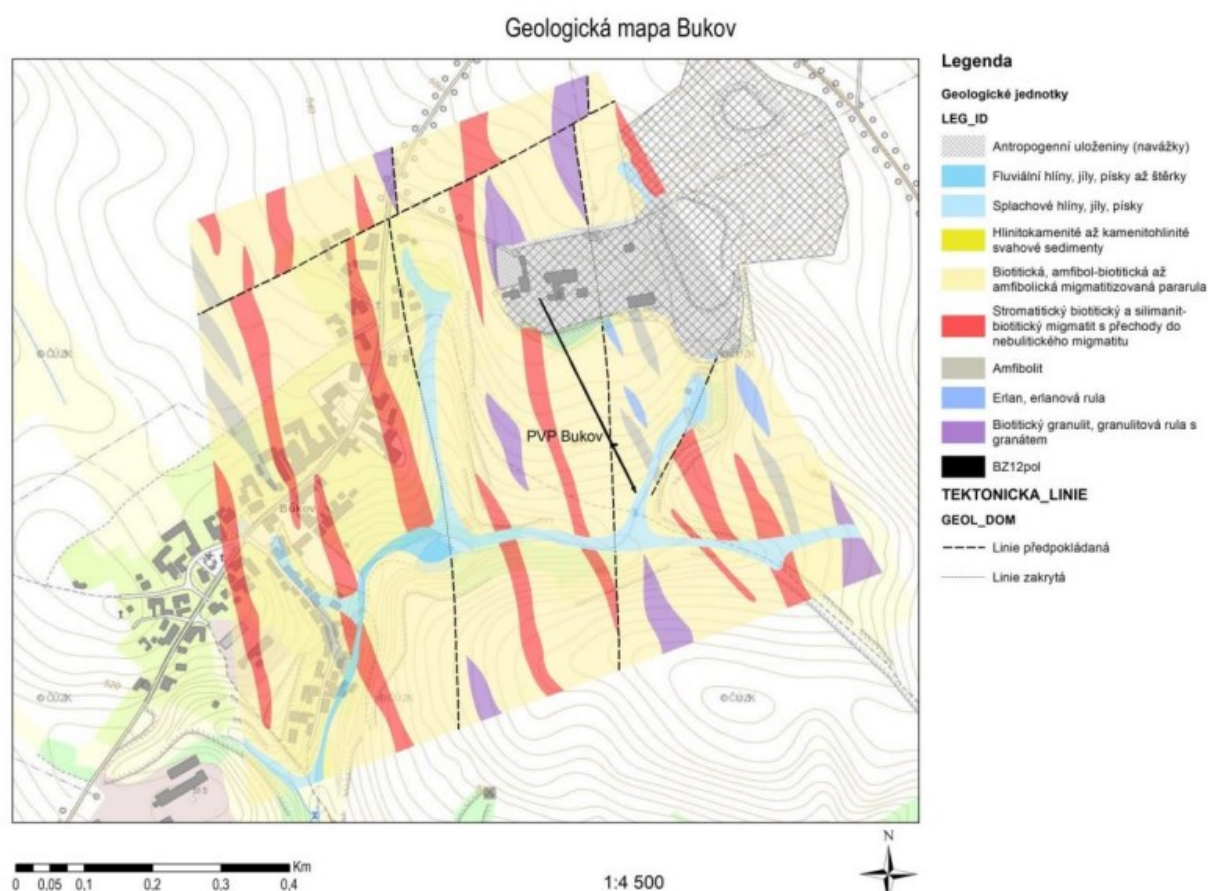
Výstavba v rámci II. etapy PVP Bukov byla započata v lednu 2021. V rámci této etapy bude po sobě uskutečňováno 6 nových laboratorních chodeb o celkové délce asi 532 m v profilu 14,85 m² (šířka 4 m, výška v klenbě 4 m). Chodby budou umístěny tak, aby nedocházelo k jejich vzájemnému ovlivnění, a to jak následkem ražby, tak v postupu experimentální fáze vzhledem k možné oboustranné interakci použitých technologií a materiálů při experimentální činnosti. V těchto chodbách budou následně vyraženy zkušební komory vyhrazené k instalaci experimentů. Tyto komory budou raženy v délce max. 10 m každé chodby (šířka 4 m, výška v klenbě 4 m). Schéma (obr.4) vyjadřuje předpokládanou variaci uspořádání čerstvě vyražených prostor PVP Bukov v rámci II. etapy s největším možným množstvím zkušebních komor. Konečný tvar bude vycházet z aktuálně zjištěných vlastností horninového masivu a výzkumných potřeb SÚRAO. [11]



2.3. Geologické poměry v prostoru PVP Bukov

2.3.1. Okolí PVP Bukov

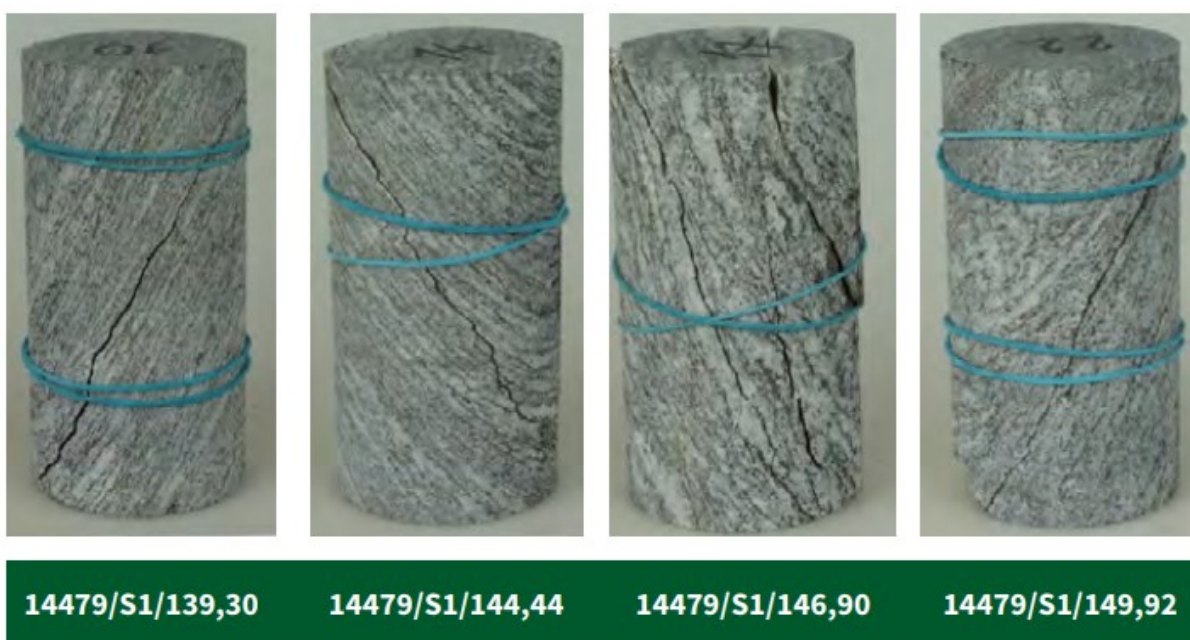
PVP Bukov je z regionálně-geologického hlediska lokalizována do hornin gföhlské skupiny moldanubika (strážeckého moldanubikum), v jehož horninovém složení vycházejí především cordierit-biotitické a amfibol-biotitické ruly v různé míře dílčího tavení (migmatizace). Tyto horniny obsahují polohy pestrých horninových vložek – amfibolitů, mramorů a eklogitů. Při východním okraji této jednotky, v oblasti styku se svrateckým krystalinikem, pak vystupuje rozlehlejší těleso světlých granulitů s polohami serpentinizovaných peridotitů a ortonulových hornin. Tyto horninové komplexy byly post – tektonicky intrudovány horninami drahonínského plutonu. Metamorní podmínky variského vývoje strážeckého moldanubika byly v případě výše-tlakové minerální asociace v granulitech odhadnuty na P : 1,8 GPa a T : 850 °C, a s nízkotlakou re-ekvilibrací během relativně mladších deformačních událostí probíhala v podmínkách P : 0,35–0,45 GPa a T : 680–720 C. [10]



2.3.2. V místě PVP Bukov

Geologická stavba v místě vlastního horninového prostředí PVP Bukov je tvořena přeměněnými horninami s diskontinuitami a vnitřní stavební anizotropií (migmatizované biotitické ruly až stromatitické migmatity, amfibolicko-biotitické až biotiticko-amfibolické ruly a amfibolity). [7]

Klasifikací podle Bieniawského (1989) nebo Hoeka a Browna (1997) byla zjištěna vysoká až velmi vysoká pevnost (obr.6). PVP Bukov se nachází v seizmicky stabilním prostředí bez indikací technické nebo jiné seismicity. [7]



Obrázek 6 Ukázka porušení zkušebních těles migmatitů po zkouškách pevnosti [7]

3. Operace razícího cyklu

Pro vyražení podzemního díla využíváme soubor pracovních operací, které musíme provést, abychom vyrazili jistou jednotku díla (vzdálenost), kterou nazýváme záběr. Tento soubor po sobě jdoucích prací nazýváme pracovním cyklem. Klasické rozpojování horniny prostřednictvím vrtacích a trhacích prací nazýváme ražení pomocí tzv. konvenční technologie. Konvenční ražení probíhá v cyklu, který obsahuje operace hlavní a vedlejší. Hlavní operace obstarávají v čelbě bezprostředně postup díla, vedlejší doplňují operace hlavní.

K hlavním operacím počítáme:

- Vrtání vývrtů
- Nabíjení vývrtů a trhací práce
- Odkliz (tj. nakládání a odtěžení horniny)
- Vystrojení + eventuální vyztužování raženého díla

K operacím vedlejším řadíme:

- Větrání
- Přípravné a pomocné práce k operacím hlavním
- U uzavřených tvarů výztuže zásyp protiklenbové části díla
- Dopravu materiálu do čelby
- Manipulace s překladači v prostoru čelby, např. přesun škrabákových nakladačů k čelbě
- Prodlužování luten a potrubí, montáž ventilátorů

3.1. Operace vrtání vývrtů

Vrtací práce pro nálože trhavin je jedna z hlavních pracovních operací, která v rozhodné míře ovlivňuje rychlost a ekonomičnost ražení tunelu. Jejím vývoji dali konstruktéři vrtacích zařízení takovou pozornost, že za posledních asi 40 let se podařilo zvětšit rychlost vrtání až 30násobně.

Dle úrovně použité mechanizace jsme schopni je členit na vrtání strojní (vrtacími vozy) a ruční vrtání.

Strojní novodobé tunelování je nepředstavitelné bez masívních hydraulických vrtacích kladiv, umístěných na vrtacích vozech. Jejich princip setrvává už desetiletí nezměněn. Vrtací vozy jsou samohybné nosiče vrtacích zařízení. Dodávají se na kolejovém, pásovém a pneumatickém podvozku. Kolejový podvozek mají většinou vrtací vozy vyhrazené k ražení štol. Při ražení tunelů se používají většinou vrtací vozy na bezkolejovém podvozku s dieslovým pohonem a s elektrohydraulickými vrtacími kladivy, málokdy vrtací vozy s pneumatickými kladivy. [1]

Pro ražbu patrových chodeb na dolu Rožínka byly používány kolejové vrtací vozy 2 MR – 500 (fy. Tampella, Finsko) a vozy vlastní výroby (vyvinuté pro uranový průmysl) W–4 se čtyřmi lafetami a vrtacími kladivy VK – 25 nebo lehké přenosné vrtací sloupy VS – 1 s kladivem VK – 22 (obr.7) nebo VKS – 29. [20]



Obrázek 7 Ruční vrtací kladivo VK-22 [21]

Jedním z vrtací vozů, které dále byly použity pro vrtání vrtů při ražení na dole Rožínka byl vrtací vůz BWA-3(obr.8).



Obrázek 8 Vrtací vůz BWA-3 [16]

Ruční vrtání, zejména ruční soupravy mají mnoho kladů, k nimž patří nenáročná přizpůsobivost podmínkám ražení (úklon díla, hornina, snadná vyměnitelnost apod.) a ekonomická nenáročnost. Mají ale rovněž řadu nevýhod a hygienických nedostatků. Patří mezi ně hlasitost, rychlost práce a vibrace při styku s kladivem (vznik vazoneurózy). [4]

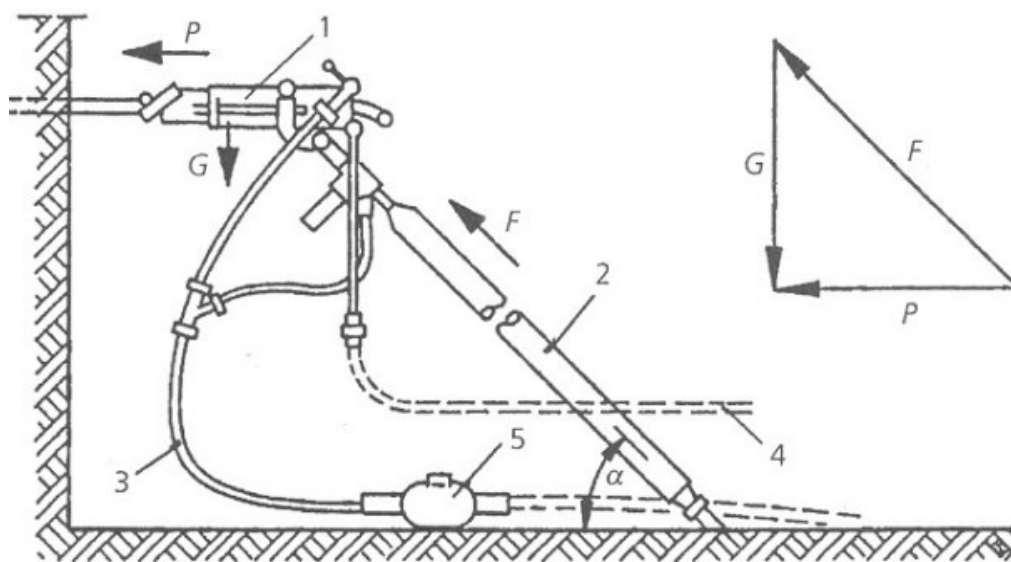
Složení ručního vrtání je vrtačka nebo vrtací kladivo, pneumatická podpěra, vrtné nářadí (tyč + korunka), přívodní hadice a příslušenství.

Vrtací kladiva k vrtání vrtů pro nálože trhavin, které mají průměr většinou 27 až 45 mm a délku do 6 m, dělíme podle:

- Hmotnosti na:
 - Lehká – hmotnost do 30 kg
 - Těžká – hmotnost zpravidla 50 až 180 kg
- Podle pohonu na:
 - Elektrická
 - Pneumatická
 - Hydraulická

- Dle principu vrtání na:
 - Rotační – používá se v měkkých poloskalních horninách
 - Nárazová (příklepná) – píst vrtacího kladiva poháněný stlačeným vzduchem, tlučé „příklepává“ na konec tyče vrtacího dláta
 - Rotačně-příklepná – aby ostří dláta nedopadalo stále na stejné místo zajišťuje konstrukce kladiva pootáčení vrtacího dláta zpravidla o 60° po každém úderu

Pneumatická kladiva jsou lehká, hmotnost je obvykle kolem 30 kg, což umožňuje i vrtání „z ruky“. Daleko častěji se ale kladiva podepírají pneumatickou vzpěrou, jež zabezpečuje i nutný přítlak na vrtací dláto a jeho posouvání do vrtu (obr.9). [1]



Obrázek 9 Lehké vrtací kladivo na pneumatické vzpěře [1]

1 - kladivo, 2 - vzpěra, 3 - přívod vzduchu, 4 - přívod vody, 5 - odolejovač

3.2. Operace trhacích prací

Navzdory rostoucímu trendu mechanického rozpojování setrvávají tu chemické trhaviny pořád nejvýznamnějším nástrojem, kterým se oddělují horniny od masivu. Tato operace reprezentuje 40 až 45 % prací při ražení děl s výztuží a bez výztuže je to ještě více. Výsledek rozpojování notně závisí od správné koncepce vrtacích prací. Bezprostřední účinek to má i na další navazující operace, obzvláště nakládání a stabilitu raženého díla. [4]

Mezi hlavní prostředky trhací techniky patří výbušniny, rozněcovadla a pomůcky k použití výbušnin.

3.2.1. Výbušniny

Rozpojování hornin se uskutečňuje výbuchem, což je fyzikálně-chemický proces vedoucí k prudkému uvolnění energie. Výbuch je vlastně explozivní hoření, jehož rozpojovací efekt způsobuje tlak uvolněných povýbuchových zplodin plyné konzistence.

Podle druhu vyvolání přeměny dělíme výbušniny na:

- Přímé, které se donutí k typické výbuchové přeměně prostým impulsem, např. třením, nárazem, nápichem, plamenem atd. Patří sem třaskaviny a střeliviny.
- Nepřímé, které můžeme přimět k výbuchu zpravidla jen prostřednictvím většího množství energie, obvykle výbuchem přímé výbušniny. Do této skupiny patří téměř všechny průmyslové trhaviny.

Výbušniny dělíme podle charakteru výbuchové přeměny, která je pro daný druh výbušniny typická a podle určení:

- Střeliviny – výbuchovou přeměnou je deflagrace (černý prach, bezdýmné prachy)
- Třaskaviny – výbuchovou přeměnou je detonace (azid olovnatý, tricinát olovnatý)
- Trhaviny – výbuchovou přeměnou je detonace (Perunit E, Permonex V19, atd.)
- Výbušné pyrotechnické slože – výbuchovou přeměnou je deflagrace, ojediněle detonace

Průmyslové trhavy jsou směsi organických a anorganických látek, které jsou výbušné i nevýbušné povahy, jejichž úkolem je rozpojení materiálu. K jejich iniciaci je zapotřebí silného počátečního impulsu, kterým je obvykle výbuch rozbušky nebo počinové náložky. [3]

Rozdělení průmyslových trhavin podle způsobu a místa použití:

- Povrchové – pro použití jen na povrchu (Emulgit 42 GP, Permon 10 T)
- Důlní skalní – pro použití v podzemí i na povrchu (Permonex V19, Perunit E)
- Důlně bezpečné (DBT):
 - DBT – protiprachové (Synthesit)
 - DBT – protiplynové I. kategorie (Slavit)
 - DBT – protiplynové II. kategorie (se zvýšenou bezpečností – Ostravit C)
 - DBT – protiplynové III. kategorie (u nás se nepoužívají)
- Pro zvláštní použití
 - destrukční práce (Semtex 1 A)



Obrázek 10 SEMTEX 1 A [12]

Podle konzistence se klasické skalní trhavy dělí na:

- sypké
- poloplastické
- plastické
- emulze

3.2.2. Rozněcovadla

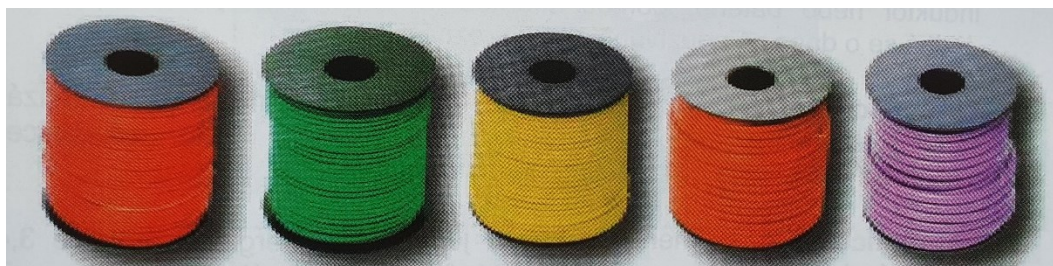
Rozněcovadla jsou nástroje sloužící pro přivedení náloží trhavin k výbuchu. Prostředky pro roznět výbušnin dělíme na základní, pomocná a doplňková. Mezi základní rozněcovadla patří rozbušky a elektrické palníky. Pomocnými rozněcovadly jsou zápalnice, bleskovice, detonační trubice a stopina (pro ohňostrojové potřeby). Mezi doplňková rozněcovadla lze zařadit dnes již nepoužívané zážehové zápalnice a milisekundové bleskovicové zpožďovače. [1,3]

Rozbušky dělíme na:

- elektrické
- elektronické
- bleskovicové

Elektrický roznět je v podzemním stavitelství nejpožívanější. Jeho komponenty jsou elektrické rozbušky, roznětnice (zdroj elektrického proudu), roznětní vedení a zkušební přístroj (ohmmetr). Elektrická rozbuška vzniká spojením elektrického palníku s rozbuškou. Existují přitom elektrické rozbušky mžikové a časované. [3]

Bleskovice se přivádějí k výbuchu rozbuškou nebo speciálním zapalovačem. Bleskovice se používají především k přenosu detonace od rozbušky do trhaviny, ale mohou sloužit i samy jako trhavina. [1]



Obrázek 11 Barevné odlišení bleskovic dle obsahu výbušniny (z leva od nejméně po nejvíce)

3.2.3. Pomůcky pro použití výbušnin

Mezi pomůcky pro trhací práce patří roznětnice pro elektrický roznět (dynamoelektrické, kondenzátorové), roznětnice pro roznět neelektrických rozbušek (mechanické roznětnice, jiskrové roznětnice), přístroje pro kontrolu el. roznětu, vodiče, ucpávky, nabíjecí tyče a nabíjecí zařízení.

3.3. Odkliz horniny

Pod pojmem odkliz rozumíme naložení horniny a její odtěžení z místa čelby. Nakládání horniny může být uskutečňováno buď ručně (velmi zřídka), nebo strojně. Tyto operace patří mezi nejvýznamnější, protože časově zabírají v rudném ražení 25 až 35 % a v uhelném 50 až 60 % času.

Ruční nakládání se používá na velmi krátké úseky a malé profily prorážky. Je velmi neekonomické a pracné.

Strojní nakládání využívá různých systémů nakládání horniny. Nakladače lze rozdělit do dvou základních skupin:

- Nakladače s cyklickou funkcí, pracující na principu nakládací nádoby.
- Nakladače kontinuální, nahrnují horninu na dopravník (hřeblový), procházející nakladačem. Dopravníkem je pak hornina dopravována za stroj k další manipulaci.

Nakladače dělíme podle podvozku na kolejové, kolové a housenicové. Volba podvozku závisí na tom, v jakém úklonu nakladač budeme používat.

Na volbu nakladače při ražení mají vliv tato kritéria:

- kritéria od raženého díla
 - velikost a tvar průřezu díla
 - výztužní konstrukce díla
- kritéria od nakládané horniny
 - pevnost, abrazivita, rozpojitelnost, rozbřídavost
 - kusovitost a rozhoz horniny od čelby
- kritéria závislá na technologii a mechanizaci ražení
 - druh pohonu mechanismů v čelbě
 - způsob pohybu ostatních razících mechanismů
- kritéria vlastního nakladače
 - výkon nakladače
 - rozměry v dopravní a pracovní poloze
 - pohon a způsob pojezdu

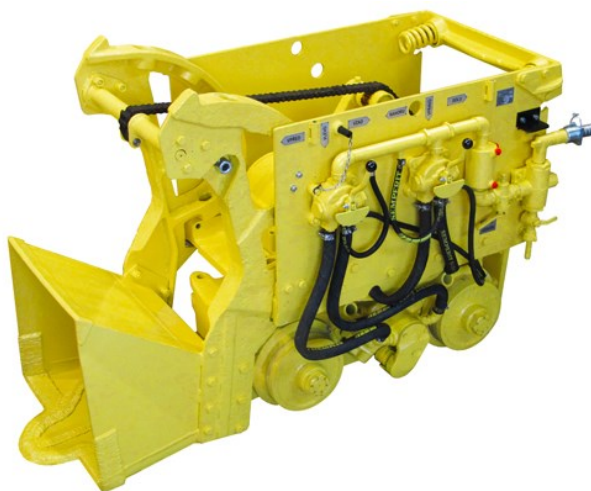
3.3.1. Nakladače s cyklickou funkcí

Mezi nakladače s cyklickou funkcí patří:

- Přehazovací nakladače
- Nakladače s bočním výklopem
- Nakladače s čelním výklopem
- Škrabákové nakladače

Lopátové-lžicové přehazovací nakladače s objemy lopat $0,1 - 0,5 \text{ m}^3$ jsou doposud nepoužívanějšími nakladači při ražení s přímým nakládáním do vozů malého objemu (do $1,4 \text{ m}^3$). V tomto případě se vybírají obvykle nakladače kolejové. Podle šířky díla a šířky nakládací zóny se vybírají jeden nebo dva současně pracující nakladače. V rudném hornictví se mnohokrát používá kolových přehazovacích nakladačů se zásobníkem, jež po naplnění a odvozu vyklopí horninu do zásobníku nebo na dopravník. [2]

Báňský kolejový přehazovací nakladač PPN je využitkován jako nakladač rozpojené horniny při ražbách v uhelných a rudných dolech a podzemním stavitelství. Přehazovač PPN přenáší horninu do důlních vozů, na hřeblový nebo pásový dopravník, eventuálně na druhé používané transportní zařízení. Nakládání je realizováno z kolejové tratě, po níž nakladač pojíždí. Nejnižší výška pro využití nakladače PPN je 2,3 m, aplikováno k hlavě kolejnice. Ze vzdálenosti kolem 0,5 m najíždí nakladač se spuštěnou lopatou do rozpojené horniny. Hned když se lopata dostatečně zaboří do materiálu, což je napomáháno natřásáním lopaty, započne se za podpory řetězu zvedat. [13]



Obrázek 12 Lžicový přehazovací nakladač PPN [13]

3.4. Vyztužování

Vyztužování v rudných dolech je situace vzhledem k pozitivnějším stabilitním předpokladům a používání lehčích (svorníky, stříkaný beton, kombinace) výztuží a jejich nenáročnější mechanizovatelnosti celkem příznivá. [2]

Instalace svorníku sestává z vyvrtání vývrtů, instalace a ukotvení svorníku a utažení svorníku na stanovené předpětí. K instalaci lze upotřebit lehké, střední a těžké mechanizace. [2]

Lehké mechanismy jsou prakticky vrtací kladiva s teleskopickou podpěrrou. Středně těžká svorníkovací zařízení mají obvykle hmotnost 100–1500 kg, převážně jsou opatřena 2 až 4 kolejovým podvozkem. Těžké svorníkovací mechanismy mohou být buď víceúčelové vrtací a svorníkovací vozy nebo různě jednoúčelové svorníkovací automaty na kolových samohybných podvozcích se samostatným náhonem nebo elektrohydraulické na podvozcích housenicových. [2]



Obrázek 13 Svorník ocelový nepoddajný [14]

4. Návrh technologického postupu ražby

Na základě obdržené dokumentace reálné situace při ražbě II. Etapy Bukov byl navržen technologický postup ražby chodby ve vyvřelých horninách. Ražený profil odpovídá hrubé ploše díla $14,8 \text{ m}^2$. Jedná se o atypické dílo se svislými stěnami a klenutým stropem v poloměru 2 m, výška díla je 4 m a šířka díla je 4 m. Ražení bude probíhat v kvazi-homogenních v migmatitických horninách s koeficientem protodjakonova $f = 16$. Pevnost horniny v tlaku 160 MPa a pevnost horniny v tahu je 12 MPa.

4.1. Návrh trhačích prací

4.1.1. Typ zálomu

Pro ražbu byl zvolen zálom tzv. klínový. Jedná se o sbíhavý typ zálomu. Je to nejpoužívanější sbíhavý zálom. Vývrty jsou uspořádány do prostorového klínu podle vrstevnatosti a pevnosti horniny. Při požadavku větší zabírky lze použít vícenásobný klínový nebo kuželový zálom. Nevýhodou je poměrně vysoký odhoz horniny a omezení šířkou díla. Výhodou vysoká spolehlivost v otevření čelby.

Podle koeficientu Protodjakonova byl navrhnout počet zálomových vrtů 8 s roztečí zálomových dvojic po 300 mm s úhlem vrtů k rovině čelby 60° . Na základě tohoto návrhu byla vypočítána zabírka zálomu, délka zálomového vrtu, vzdálenost ústí vývrtů od osy zálomu a na závěr skutečná zabírka.

- Stanovení zabírky zálomu z_z [m]

$$z_z = \frac{D_{min-x}}{4} \cdot \tan \alpha - 0,1 \sin \alpha = \frac{4000-150}{4} \cdot \tan 60 - 0,1 \sin 60 = 1667 \text{ mm} = \mathbf{1,667 \text{ m}}$$

- Stanovení délky zálomového vrtu l_z [m]

$$l_z = \frac{z_z}{\sin \alpha} = \frac{1667}{\sin 60} = 1925 \text{ mm} = \mathbf{1,925 \text{ m}}$$

- Vzdálenost ústí zálomových vývrtů od osy zálomů R [m]

$$R = \sqrt{l_z^2 - z_z^2} + 0,5 \cdot x = \sqrt{1,925^2 - 1,667^2} + 0,5 \cdot 0,15 = 1,038 \text{ m}$$

- Stanovení skutečné zabírky z_{sk} [m]

$$z_{sk} = z_z \cdot k_p = 1,667 \cdot 0,9 = 1,5 \text{ m}$$

Výsledná vypočtená délka zabírky pro zvolený zálom je 1,5 m.

4.1.2. Volba trhaviny

V dalším kroku byla vybrána průmyslová trhavina. Pro provedení trhacích prací použijeme důlní skalní trhavinu s názvem Perunit E. Je to trhavina klasického dynamitového typu s vysokým obsahem energie, velkou hustotou a vysokými hodnotami detonační rychlosti. Používá se na podzemních pracovištích v nevýbušném prostředí, kde charakter rozpojovaného materiálu vyžaduje použití výkonné trhaviny. [12]



Obrázek 14 Perunit E [12]

Tabulka 1 parametry trhaviny Perunit E

| | |
|--------------------------|--|
| Hustota trhaviny | $(\gamma) = 1\,380 \text{ kg/m}^3$ |
| Specifický objem zplodin | $(V_0) = 0,858 \text{ m}^3/\text{kg}$ |
| Výduť v TRAZZLU | $(R_T) = 385 \text{ cm}^3$ |
| Průměr náložek | $(d_n) = 32 \text{ mm}$ |
| Hmotnost náložky | $(Q_1) = 0,500 \text{ kg}$ |
| Délka náložek | $(l_n) = 0,320 \text{ m}$ |
| Toxické plyny | $(\text{CO}, \text{NO}_x) = 2,32 \% , 0,23 \%$ |

Zdroj: explosia.cz

4.1.3. Měrná spotřeba trhaviny

Třetím krokem byl výpočet základního parametru pro trhací práce měrné spotřeby trhaviny, kterou potřebujeme, abychom vypočetli hmotnost náložky.

Hodnota této veličiny byla stanovena pomocí několika empirických vztahů. Veškeré výsledky jsou jenom přibližné a přesnější stanovení je pomocí např. ověřovacích odstřelů.

Výsledky jednotlivých vztahů jsou v tabulce č.2 a z jednotlivých výsledků měrné spotřeby trhaviny je udělán aritmetický průměr. Podrobný výpočet všech hodnot z tabulky je v příloze.

Tabulka 2 výsledky empirických vztahů pro $q_{stř}$

| Výpočet podle | $q_{stř}$ [kg/m ³] |
|-------------------------|--------------------------------|
| Podle PROTODJAKONOVA I. | 1,040 |
| Podle PROTODJAKONOVA II | 2,099 |
| Podle IBRAJEVA | 2,170 |
| Podle POKROBSKÉHO | 3,090 |
| Podle ČUPRONOVA | 1,724 |
| Podle LANGEFORSE | 1,746 |
| Podle OKR (VVUÚ) | 1,457 |
| Podle MHD (Rudné doly) | 1,430 |
| Podle VŠB | 2,560 |

$$\text{Průměr : } q_{stř} = \frac{1,040+2,099+2,170+3,090+1,724+1,746+1,457+1,430+2,560}{9} = 1,924 \text{ kg/m}^3$$

Výsledná měrná spotřeba trhaviny vypočtena aritmetickým průměrem je 1,924 kg/m³.

- Měrná spotřeba trhaviny v zálomu q_z [kg.m-3] :

$$q_z = \frac{q_{stř} \cdot F_{hr} \cdot z_z}{V_z + 0,6(F_{hr} \cdot z_z - V_z)} = \frac{1,924 \cdot 14,8 \cdot 1,667}{1,67 + 0,6 \cdot (14,8 \cdot 1,667 - 1,67)} = 3,068 \text{ kg/m}^3$$

- Měrná spotřeba trhaviny v pomocných vrtech q_p [kg.m-3] :

$$q_p = 0,6 \cdot q_z = 0,6 \cdot 3,068 = 1,841 \text{ kg/m}^3$$

Musí být splněna podmínka:

$$q_z > q_{stř} > q_p \quad 3,068 > 1,924 > 1,841 \quad \rightarrow \quad \underline{\text{Podmínka vyhovuje}}$$

Na základě vypočtené měrné spotřeby trhaviny se vypočítala měrná spotřeba trhaviny v zálomu rovna 3,068 kg/m³ a v pomocných vrtech 1,841 kg/m³. Na závěr byla ověřena podmínka, která vyhověla.

4.1.4. Výpočet celkových počtů vývrtů na čelbě

Výpočtem dle Protodjakonova I. a II., Bogomolova a koeficientu nabití byly spočítány čtyři hodnoty celkového počtu vrtů (tab. č.3). Podrobný výpočet všech vztahů viz. příloha.

Tabulka 3 výsledky empirických vztahů pro N_c

| Výpočet podle | N_c |
|--------------------------|--------|
| Dle PROTODJAKONOVA I. : | 41,55 |
| Dle PROTODJAKONOVA II. : | 62,124 |
| Dle Bogomolova : | 35,393 |
| Dle Koeficientu nabití : | 36,39 |

$$\text{Aritmetický průměr : } N_c = \frac{41,55+62,124+35,393+36,39}{4} = 43,86 \rightarrow 44 \text{ vývrtů}$$

Z výsledných uvedených vztahů aritmetickým průměrem byl zjištěn celkový počet vrtů, který je 44.

- **Počet pomocných vývrtů na čelbě N_p**

$$N_p = N_c - N_z = 44 - 8 = 36 \text{ vývrtů}$$

Odečtením 8 zálomových vrtů od celkového počtu vrtů jsme získali 36 pomocných vrtů na čelbě.

4.1.5. Výpočet celkové hmotnosti náloží

Následně po výpočtu celkového počtu vrtů, jsme spočítali hmotnost náloží v zálohu, která byla 0,64 kg a poté zaokrouhlena na 1,0 kg při balení 0,5 kg náložka.

- **Hmotnost nálože v zálohu Q_z [kg]**

$$Q_z = q_z \cdot V_z = 3,068 \cdot 1,67 = 5,124 \text{ kg}$$

- **Hmotnost 1. zálomové nálože Q_{1z} [kg/1.vrt]**

$$Q_{1z} = \frac{Q_z}{N_z} = \frac{5,124}{8} = 0,6404 \text{ kg} \rightarrow Q_{1z,oprav} = 1 \text{ kg} \rightarrow 2 \text{ náložky} \rightarrow l = 0,320 \text{ m}$$

Délka zálomové nálože: 1 náložka . $l_n = 2 \cdot 0,320 = 0,640 \text{ m}$

$$0,640 < 0,4 \cdot l_z$$

$$0,640 < 0,4 \cdot 1,925$$

$$0,640 < 0,77 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Na závěr byla ověřena podmínka pro sbíhavé zálomy, kdy délka nálože musí být menší než 40% délky vrtu. Výsledná hodnota byla menší než 40 % , tudíž vyhověla.

V předposledním kroku byla vypočtena hmotnost v pomocných vrtech. Kdy nejdříve byla spočítána hmotnost v pomocných vývrtech, která je pak opravena na 36 vývrtů a zjistili jsme, že potřebujeme 3 náložky po 0,5 kg balení náložky. Výsledná hmotnost 1,5 kg byla následně násobena 36 vrty, což představuje celkovou hmotnost náloží 54 kg v pomocných vrtech.

- **Hmotnost nálože v pomocných vývrtech Q_p [kg]**

$$Q_p = q_p(F_{hr} \cdot z_z - V_z) = 1,841(14,8 \cdot 1,667 - 1,67) = 42,3 = 43 \text{ kg}$$

- **Hmotnost nálože v 1. pomocném vývrtnu Q_{1p} [kg/1vrt]**

$$Q_{1p} = \frac{Q_p}{N_p} = \frac{43}{36} = 1,19 = 1,5 \text{ kg} \rightarrow Q_{1p,oprav} = 3 \text{ náložky} = 3 \cdot 0,5 = 1,5 \text{ kg}$$

- **Opravená hmotnost nálože v pomocných vrtech $Q_{p,opr}$ [kg]**

$$Q_{p,opr} = Q_{1p,oprav} \cdot N_p = 1,5 \cdot 36 = 54 \text{ kg}$$

- **Celková hmotnost nálože Q_c [kg]**

$$Q_c = Q_{z,opr} + Q_{p,opr} = 8 + 54 = 62 \text{ kg}$$

Součtem hmotností náloží v zálomových vrtech a pomocných vrtech jsme získali celkovou hmotnost náloží 62 kg.

Na závěr kalkulace parametrů odstřelu jsme vypočítali rozmístění pomocných vývrtů v čelbě. Kritérium pro rozmístění náloží v profilu se řídí tzv. maximálním směrným odporem (nejkratší dráha k nejbližší volné ploše).

- **Rozmístění pomocných vrtů v čelbě :**

$$w_{\max} = \sqrt{\frac{l}{q_p}} = \sqrt{\frac{1,563}{1,841}} = 0,92 \text{ m}$$

$$l = \text{hmotnost } 1 \text{ m souvislé nálože} = 1,563 \text{ kg}$$

4.1.6. Výpočet škodlivých účinku odstřelu

- **Škodlivé účinky odstřelu :**

$$V_{sk} = Q_c \left(\frac{\%CO}{100} \cdot V_o + 6,5 \frac{\%NO_2}{100} V_0 \right) = 116 \cdot \left(\frac{2,32}{100} \cdot 0,858 + 6,5 \cdot \frac{0,23}{100} \cdot 0,858 \right) = 3,797 \text{ m}^3$$

$$k_{\%CO} = \frac{V_{sk}}{V} \cdot 100 = \frac{3,797}{148} \cdot 100 = 2,57 \%CO$$

$$V = F_{sv} \cdot l = 14,8 \cdot 10 = 148 \text{ m}^3$$

l = vzdálenost difúze zplodin od čelby [m], ~10 m

Vypočtená počáteční koncentrace CO odpovídá cca 2,57 %.

4.2. Návrh elektrického roznětu

Pro roznět náloží budou použity elektrické časované rozbušky. Inicie rozbušek bude zajištěna pomocí roznětnice RKC-1. Je to kondenzátorová roznětnice, která je odolná proti ořesům, prachu, vlhkosti, stříkající vodě a pracuje spolehlivě v rozmezí teplot od -35 °C do +45°C. Technické parametry jmenovité napětí, kapacita atd. jsou v tab.4. [17]

Z hlediska časování jsou rozbušky uvažovány elektrické typu DeM a DeD se střední elektrickou odolností. Na zálomové vrty a vrty přibírkové a rozšiřovací budou použity rozbušky DeM s časováním do pěti stupňů po 25ms. Na vrty obrysové budou použity rozbušky DeD s časovým stupněm po 250 ms. Hlavní přívodní vedení bude zajištěno pomocí dvojlinky s min. průřezem vodiče 1 mm a délkou 120 m. Pro kontrolu zapojení elektrické sítě bude použit ohmetr typ DO 200/2000. [18]

Tabulka 4 Parametry roznětnice RKC-1

| | |
|---|-------------|
| Technické údaje | RKC-1 |
| Jmenovité napětí (V) | 1000 |
| Jmenovitá kapacita (mF) | 24 |
| Energie – jmenovitá(J) | 12 |
| Energie – obvyklá hodnota(J) | 16,7 |
| Měřicí rozsah ohmetru (ohm) | 500 |
| Max. odpor roznětného okruhu pro sériové zapojení a roznětný impuls (ohm) | 335 |
| Rozměry (mm) | 200x118x121 |
| Váha roznětnice s vestavěným ohmmetrem (kg) | 3,5 |

Zdroj: sekoro.wz

Tabulka 5 Parametry rozbušek DeM a DeD

| Typ rozbušky / označení | Počet stupňů | Interval zpoždění (ms) | Barva izolace | Materiál přívodních vodičů | Elektrická odolnost (Ω) | Aktivační impuls (mJ/ Ω) | Bezpečný proud (A) |
|-------------------------|--------------|------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Milisekundová / DEM | 1-30 | 25 | Žlutá | Cu | 0,5-0,6 | 16 | 0,45 |
| Čtvrtsekundová / DED | 1-36 | 250 | Zelená | Cu | 0,5-0,6 | 16 | 0,45 |

Byla provedena kontrola jistoty roznětu pro sériové zapojení (n=1), a podmínka jistoty roznětu byla splněna.

- Posouzení jistoty roznětu – zážehový impulz

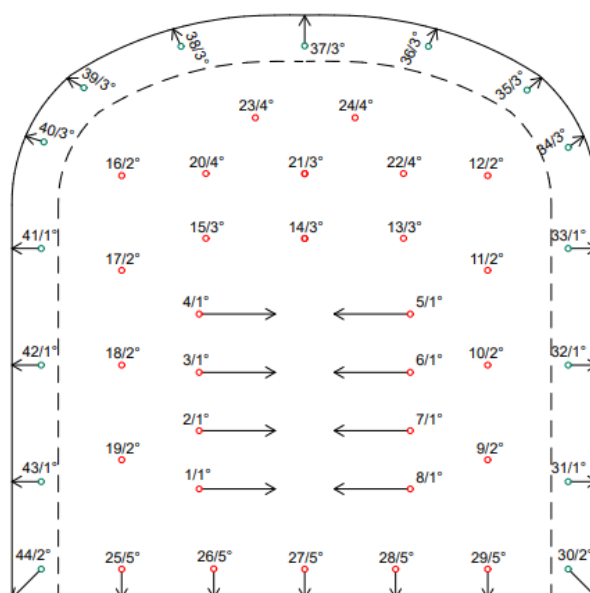
$$\begin{aligned}
 L_z &= \frac{U^2 \cdot c}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_2)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}}\right) \\
 &= \frac{1000^2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot (1^2 \cdot 5,28 + 39,908)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2,0,004}{1,08451 \cdot 10^{-3}}}\right) \\
 &= 0,265391 \text{ J}/\Omega = \mathbf{265,391 \text{ mJ}/\Omega}
 \end{aligned}$$

Časová konstanta kondenzátoru

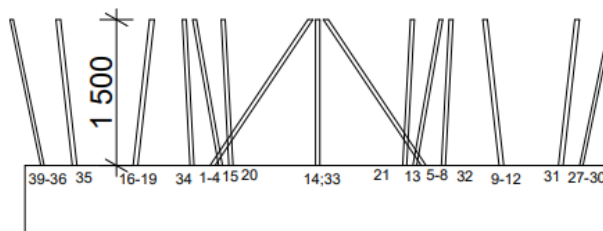
$$\tau = c \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_2}{n^2}\right) = 2,40 \cdot 10^{-5} \cdot \left(5,28 + \frac{39,908}{1^2}\right) = \mathbf{1,08451 \cdot 10^{-3} \text{ s}}$$

$L_z = 265,391 \text{ mJ}/\Omega > L_{z, \text{aktiv}} = 18 \text{ mJ}/\Omega \rightarrow \text{Vyhovuje}$

$n = 1 \text{ Vyhovuje}$



NA JEDEN ZÁBĚR 1,5 m JE TŘEBA POUŽÍT 29 ROZBUŠEK **DeM** A 15 ROZBUŠEK **DeD** K ODPÁLENÍ CELKOVÉ HMOTNOSTI TRHAVINY 62 kg.



Obrázek 15 Vrtné schéma

Celkový odpal 44 rozbušek a 62 kg výbušnin, bude trvat asi 875 ms.

Tabulka 6 Pasport trhacích prací

| | | | |
|-----|----------------------------------|----------------|----------------------------|
| 1. | PROFIL DÍLA | | Oblouk s rovnými stěnami |
| 2. | HRUBÝ PROFIL (F_{HR}) | m ² | 14,8 |
| 3. | VÝLOM | m ³ | 22,2 |
| 4. | TYP ZÁLOMU | | SBIHAVÝ KLÍNOVÝ |
| 5. | ZABÍRKA | m | 1,5 |
| 6. | POČET VRTŮ | | 44 |
| 7. | PRŮMĚR VRTŮ | mm | 45 |
| 8. | CELKOVÁ DÉLKA VŠECH VÝVRTŮ | m | 67,1 |
| 9. | TYP TRHAVINY | | PERUNIT E |
| 10. | CELKOVÁ HMOTNOST TRHAVINY | kg | 62 |
| 11. | TYP ROZBUŠEK | | DeM+DeD, S |
| 12. | CELKOVÝ POČET ROZBUŠEK | ks | 44 |
| 13. | UCPÁVKA | | PÍSEK |
| 14. | TYP ROZNĚTU, ROZNĚTNICE, OHMMETR | | EL. , RKC-1, DO 200/2000.P |
| 15. | ZAPOJENÍ PŘI EL. ROZNĚTU | | SERIOVÉ |
| 16. | MANIPULAČNÍ A BEZPEČNOSTNÍ OKRUH | m | 10/120 |

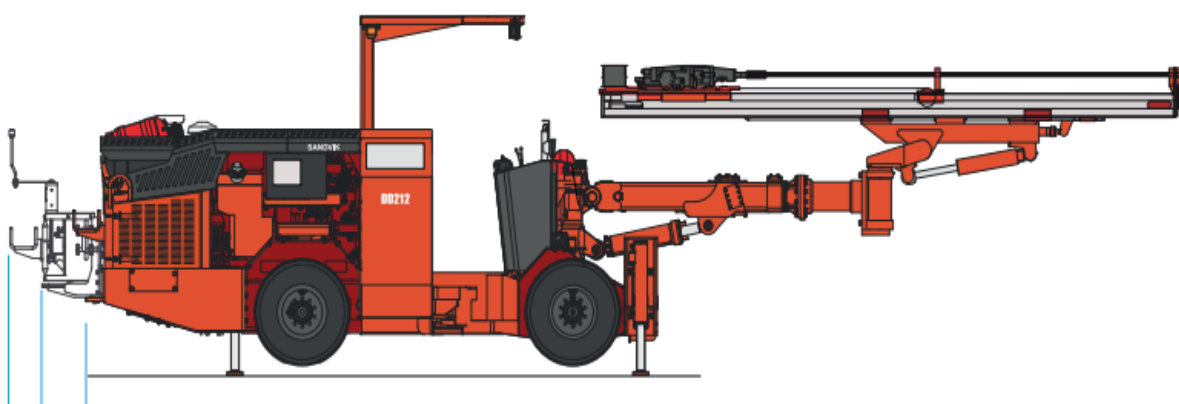
Tabulka 7 Nabíjecí plán

| ČÍSLO VRTU | PRŮMĚR VRTU [mm] | DÉLKA VRTU [m] | ÚHEL K ČELBĚ [°] | TRHAVINA | ROZBUŠKY | PRŮMĚR NÁLOŽE [mm] | HMOTNOST TRHAVINY [kg/vrt] | ČASOVÝ STUPEŇ | ČAS ODSŤŘELU OD POČÁTKU [MS] | DRUH VRTU |
|----------------|------------------|----------------|------------------|-----------|----------|--------------------|----------------------------|---------------|------------------------------|-------------|
| 1-8 | 45 | 1,925 | 65 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,1 | 1° | 25 | ZÁLOM |
| 9-12 16-19 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 2° | 50 | ROZŠÍROVACÍ |
| 13-15 21 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 3° | 75 | ROZŠÍROVACÍ |
| 20 22-24 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 4° | 100 | ROZŠÍROVACÍ |
| 25-29 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 5° | 125 | PŘIBÍRKA |
| 31-33 41-43 | 45 | 1,667 | 80 | PERUNIT E | DeD , S | 60 | 2,8 | 1° | 375 | OBRYSOVÝ |
| 30;44 | 45 | 1,667 | 85 | PERUNIT E | DeD , S | 60 | 2,8 | 2° | 625 | PATNÍ |
| 34-40 | 45 | 1,667 | 85 | PERUNIT E | DeD , S | 60 | 2,8 | 3° | 875 | STROPNÍ |

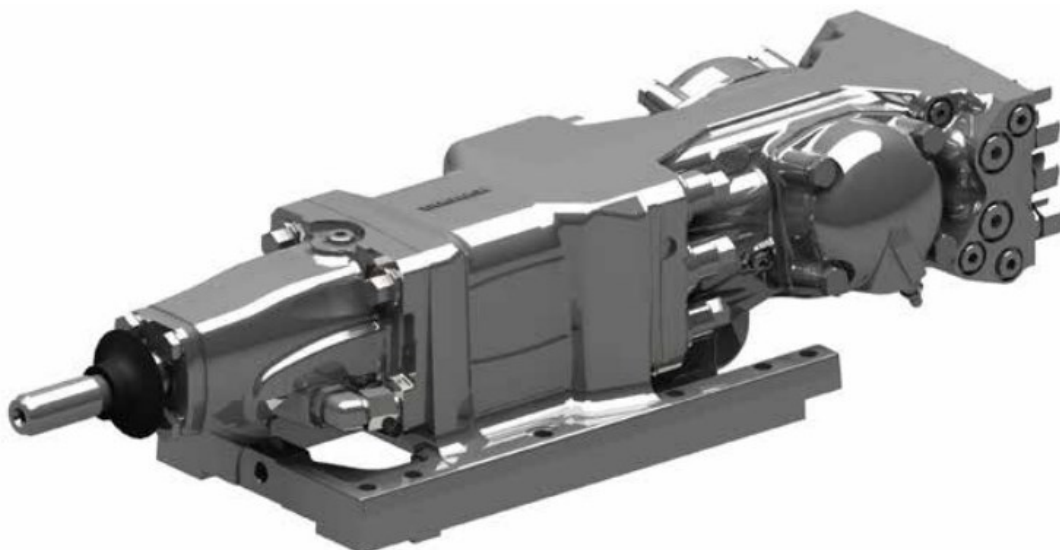
4.3. Operace vrtání - strojní vrtání

Pro výpočet strojního vrtání byl v bakalářské práci vybrán vrtací vůz Sandvik DD212, který je kompaktní a všestranný, jednoramenný, elektrohydraulický strojní vrták pro tunelování a důlní vývoj. Vrtací vůz je vhodný pro tunely menších profilů a proto byl zvolen pro tenhle příklad. Technické parametry použité ve výpočtu a obrázku jsou uvedeny v tab. č.8. [15]

Vůz je vybaven 1 vrtacím kladivem RDX5 a velice efektivním THC562 počítačovým řídicím systémem. [15]



Obrázek 16 Sandvik DD212 [15]



Obrázek 17 Hydraulické vrtací kladivo RDX5 [15]

Tabulka 8 Parametry vrtacího vozu SANVIDK DD212

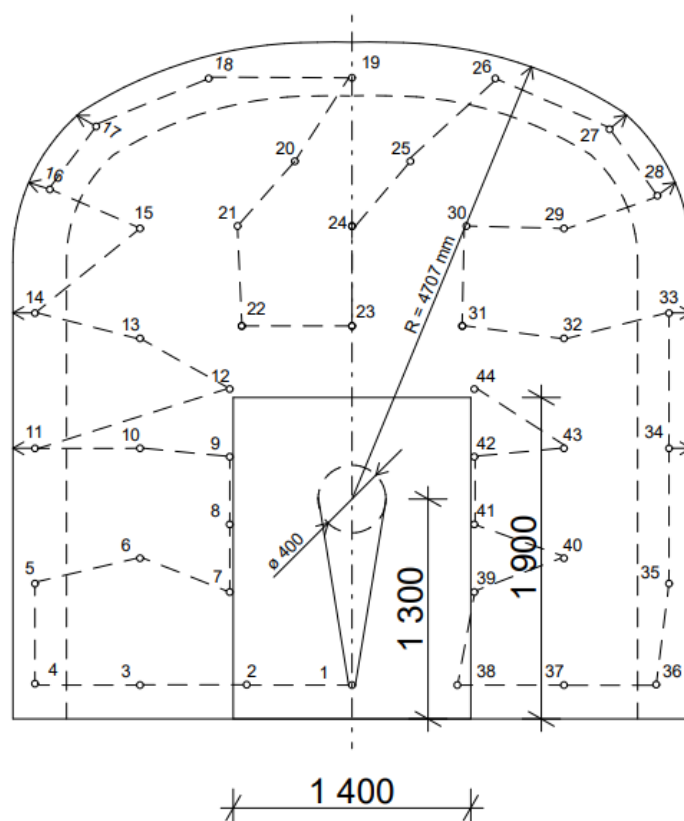
| | |
|------------------------------|----------------------|
| Typ: | Sandvik DD212 |
| Počet jednotek: | 1 |
| Výška os nad počvou: | 1300 mm |
| Mrtvá zóna M: | 400 mm (ø) |
| Poloměr dosahu R: | 4707 mm |
| Maximální šířka/délka/výška: | 1 400/9 085/2 075 mm |

Zdroj: rocktechnology.sandvik

• Doba trvání operace

Abychom vypočetli dobu trvání této operace potřebujeme znát efektivní vrtnou rychlost. Tato hodnota byla odhadnuta na cca 110 cm/min .

$$t_v = \frac{N}{\alpha \cdot p} \left(\frac{l}{v_{ef}} + t_p \right) + T_{pz} = \frac{44}{0,80 \cdot 1} \cdot \left(\frac{179,6}{110} + 0,6 \right) + 30 = 152,8 = \mathbf{153 \text{ min}}$$



Obrázek 18 Postup vrtání

Celkem bude vrtáno 44 ks vrtů pro trhací práce. Celková doba operace bude trvat cca 153 min (2,5 hodin).

4.4. Operace trhačích práce

Druhá operace se týká trhačích prací. Nejdříve spočítáme dobu nabíjení a odstřelu a z ní celkový čas trhačích prací. Pro separátní větrání čelby je navrženo foukací větrání pomocí ocelových větracích luten.

- Doba nabíjení a odstřelu

$$\text{čas nabíjení a odstřelu : } T'_n = t'_n + t''_n = 7 + 45 = \mathbf{52 \text{ min}}$$

$$\text{čas pro přípravu TP : } t'_n = \frac{t_p}{n_n} = \frac{45}{7} = 6,43 = \mathbf{7 \text{ min}}$$

$$\text{čas pro nabíjení a odstřel : } t''_n = N_c \cdot l \cdot t_n = 44.1,796.0,57 = 39,9 = \mathbf{45 \text{ min}}$$

- Prohlídka čelby po odstřelu

$$T_p \approx 7 \text{ min}$$

- Celkový čas operace trhačích prací

$$T_{TP} = T_n + T_c + T_p = 52 + 15 + 7 = \mathbf{74 \text{ min}}$$

$$T_c - \text{čekací doba } [\approx 15 \text{ min}]$$

Celkový čas trhačích prací pro nabití 44 vrtů pomocí 62 kg trhaviny je cca 74 min.

- Výpočet parametrů větrání

Jako způsob větrání byl zvolen foukací způsob větrání.

- Výpočet objemového průtoku větrů

$$Q_f = \frac{0,357}{t} \cdot \sqrt{Q_c \cdot F_{sv} \cdot L} = \frac{0,357}{15} \cdot \sqrt{62 \cdot 14,8 \cdot 150} = \mathbf{8,83 \text{ m}^3/\text{s}}$$

- Optimální průměr luten

$$d = \sqrt[6,53]{\frac{1,5853 \cdot Q^3 \cdot L \cdot z}{10^6 \cdot v_p}} = \sqrt[6,53]{\frac{1,5853 \cdot 8,83^3 \cdot 150 \cdot 1}{10^6 \cdot 3}} = 0,641 = \mathbf{0,65 \text{ m}}$$

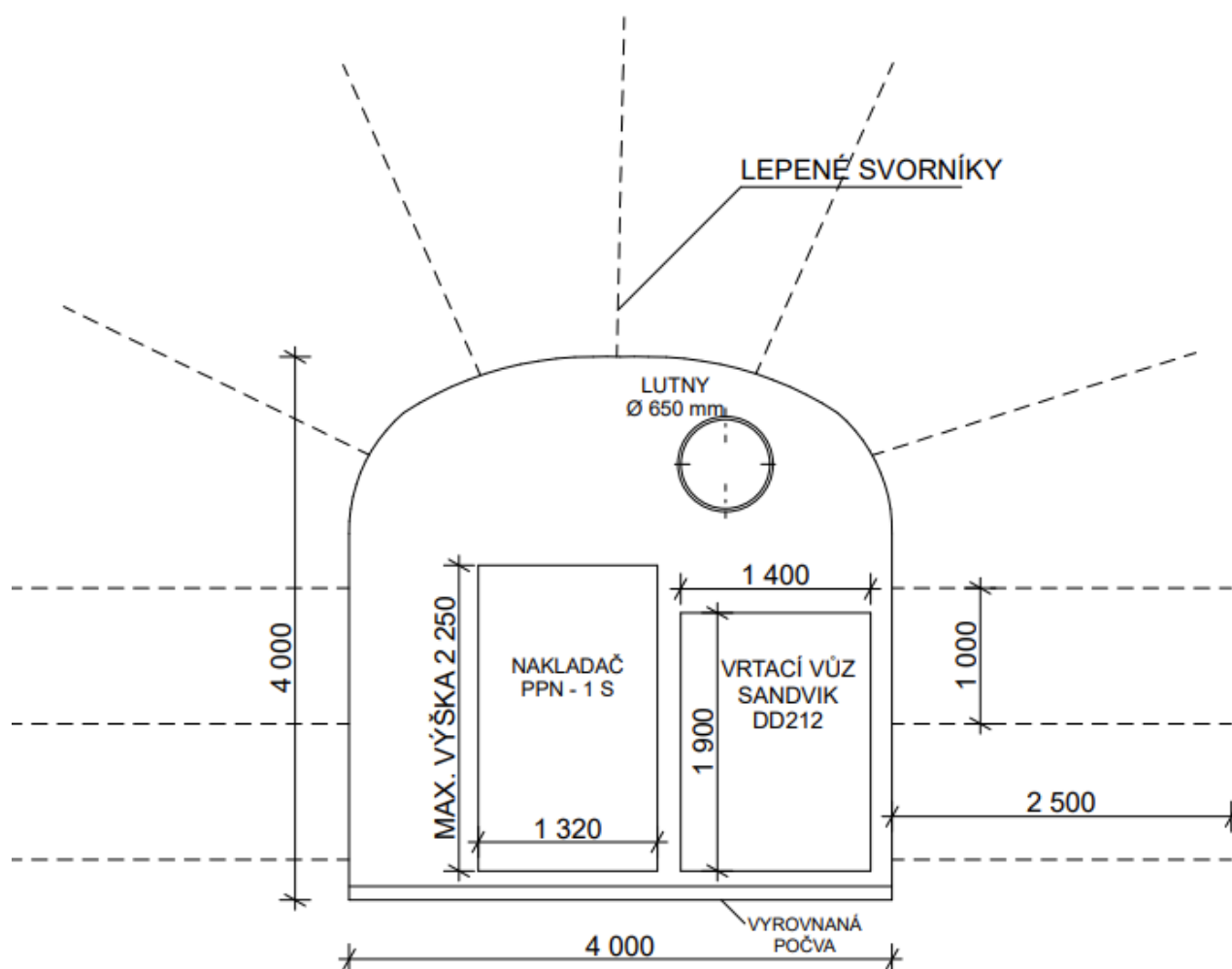
- Výpočet tlakového spádu

$$h = 0,08263 \cdot \lambda \cdot \frac{\gamma}{d^5} \cdot L \cdot Q^2 = 0,08263 \cdot 0,01 \cdot \frac{1,23}{0,65^5} \cdot 150 \cdot 8,83^2 = \mathbf{102,44 \text{ Pa}}$$

- Výkon ventilátorů N [kW]

$$N = \frac{Q \cdot h}{1020 \cdot \eta} = \frac{8,83 \cdot 102,44}{1020 \cdot 0,72} = \mathbf{1,23 \text{ kW}}$$

Navržený způsob větrání byl foukací způsob. Výpočtem byl zjištěn optimální průměr luten, který byl následně navržen na průměr 650 mm. Výkon ventilátoru bude min. 1,23 kW.



Obrázek 19 Svislý řez chodby

4.5. Operace odtěžení

Pro nakládání vyražené zabírky byl zvolen přehazovací nakladač PPN-1 S. Báňský kolejový přehazovací nakladač PPN je používán jako nakladač rozpojené horniny při ražbách v uhelných a rudných dolech a podzemním stavitelství. Nakládání je realizováno z kolejové tratě, po níž nakladač pojíždí. Nejnižší výška pro využití nakladače PPN je 2,3 m, aplikováno k hlavě kolejnice. Ze vzdálenosti kolem 0,5 m najíždí nakladač se spuštěnou lopatou do rozpojené horniny. Základní parametry nakladače jsou v tab. 9. [13]

Tabulka 9 Parametry přehazovacího nakladače PPN-1 S

| | |
|-------------------------|----------------------|
| Typ nakladače: | PPN-1 S |
| Rozměry: | 1,32 x 2,25 x 2,27 m |
| Objem lžíce: | 0,24 m ³ |
| Počet cyklů: | 3-4 za min |
| Maximální šířka záběru: | 2,2 m |

Jako volba prostředku k odtěžení naložené rubaniny byla zvolena důlní lokomotiva BVD-40 se vzduchovým motorem, která bude táhnout důlní vozíky typu JDV 1,00.2. [19]

Tabulka 10 Parametry důlního vozu JDV 1,00.2

| | |
|-------------|-------------------------------------|
| Důlní vůz: | JDV 1,00 . 2 |
| Rozměry: | 800 x 1080 x 1850 mm |
| Objem korby | 1,0 m ³ = Q _t |

Tabulka 11 Parametry důlní lokomotivy BVD-40

| | |
|--------------|-----------------------|
| Typ: | BVD-40 |
| Rozměry: | 950 x 1650 x 5 220 mm |
| Druh pohonu: | vzduchový motor |

Pro optimální rychlost výkonu nakládání je vypočtena optimální vzdálenost výhybky od čelby L_{OPT} . Nejdříve se vypočte optimální vzdálenost výhybky od čelby, která byla po výpočtu zaokrouhlena na 15 m. Veličiny potřebné k výpočtu jsou podrobně vypočteny v příloze.

• Optimální vzdálenost výhybky od čelby

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_p}{n_v \cdot t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12\,000}{38,2 \cdot 86}} = 14,86 \text{ m} \doteq \mathbf{15 \text{ m}}$$

Pro výpočet doby odklizu rubaniny z čelby je potřeba nejprve stanovit výkon nakládání tzn. stanovit, jak dlouho trvá naložení 1 m³ rozpojené horniny. Potřebujeme vědět užitečný objem lžíce. Pro celkovou dobu odklizu pak potřebujeme znát dobu výměny jednoho vozu a počet výměn vlaků. Podrobný výpočet těchto veličin je v příloze.

• Výkon nakládání P_{sk} [m³.hod⁻¹]

$$P_{sk} = \frac{60 \cdot q_n \cdot n \cdot k}{t_n + t_v \cdot \frac{q}{Q} + t_v' \cdot \frac{q}{Q} \cdot v} = \frac{60 \cdot 0,23 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{0,25 + 1,42 \cdot \frac{0,23}{0,95} + 10 \cdot \frac{0,23}{0,95 \cdot 20} \cdot 1,0} = \mathbf{18,3 \text{ [m}^3/\text{hod]}}$$

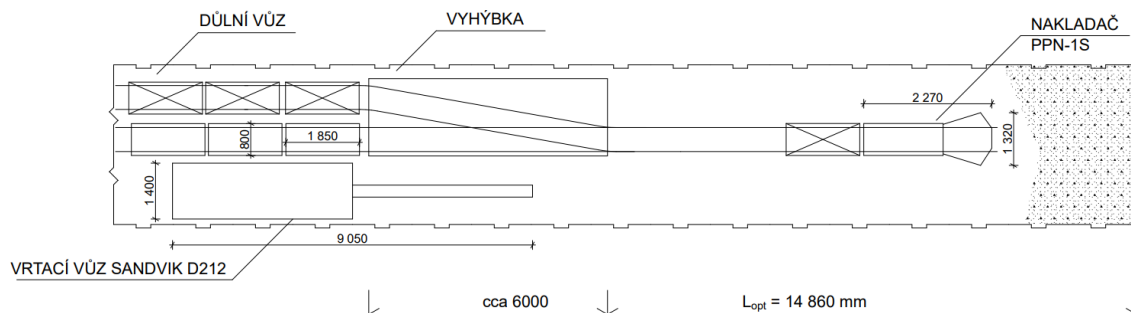
• Doba operace nakládání a odtěžení

$$T_{nakl} = \frac{F_{hr} \cdot z_{sk} \cdot k_n}{P_{sk}} + T_{pz} = \frac{14,8 \cdot 1,5 \cdot 1,7}{18,3} + 0,6 = \mathbf{2,66 \text{ hod} \doteq \mathbf{160 \text{ min}}}$$

• Pomocný čas na přípravu a zakončení operace T_{pz} [hod]

$$T_{pz} = \frac{N_{pz}}{n} + z_{sk} \cdot \frac{N_p}{n} = \frac{74}{7} + 1,5 \cdot \frac{115}{7} = \mathbf{35,21 \doteq \mathbf{36 \text{ min} = 0,6 \text{ hod}}}$$

Čas, který nám zabere operace nakládání a odtěžení je zhruba 160 min. dvě a tři čtvrtě hodiny.



Obrázek 20 Schéma odtěžení

4.6. Operace vyztužení - svorníková výztuž

Navržený způsob vyztužení podzemního díla je svorníková výztuž. Instalace svorníků sestává z vyvrtání vývrtů, instalace a ukotvení svorníků (lepený svorník) a aktivace svorníků.

Nejdříve vypočítáme zatížení svorníků na základě klembové teorie. Pro výpočet použijeme vztahů podle Mostkova a Protodjakonova. Výsledky porovnáme a vybereme hodnotu šířky, tzn největší hodnotu rozvolněné zóny.

Tabulka 12 Výsledky empirických vztahů pro šířku rozvolněné zóny

| | |
|---------------|---------|
| Mostkov I. | 0,2 m |
| Mostkov II. | 0,231 m |
| Protodjakonov | 0,125 m |

Pro výpočet budeme uvažovat s rozvolněnou zónou $b_{\max} \rightarrow \underline{b = 0,231 \text{ m}}$

Svorníková tyč bude z betonářské výztuže s průměrem 25 mm a oceli 10 425 s charakteristickou mezi kluzu $f_{yk} = 425 \text{ MPa}$. Výpočtová pevnost výztužné tyče bude $f_{yd} = 369,57 \text{ kN}$.

- Délka kořene svorníku L_k [m]

$$L_k = \frac{P_{\max}}{\pi \cdot d_v \cdot \tau} \cdot k_b \geq 0,5 \text{ m} \rightarrow \frac{181\,412}{\pi \cdot 0,033 \cdot 10^6} \cdot 1,5 = \mathbf{0,962 \text{ m}} > 0,5 \text{ Vyhovuje}$$

$$P_{\max} = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 369,57 = \mathbf{181\,412 \text{ N}}$$

Délka kořene svorníku L_k bude min. 0,962 m

Délka svorníku je dána součtem kořene a volné délky (rozvolněné zóny).

$$L_{SV} = b + L_k + L_z = 0,231 + 0,962 + 0,1 = 1,293 = \mathbf{2,5 \text{ m}}$$

Navrhují minimální délku svorníku 2,5 m.

Rozteč svorníků je určena na základě výpočtu (viz. příloha) jako minimální rozměr (vzdálenost mezi svorníky), který je $2,5 \text{ m}^2$. Pro obvod díla na 1bm raženého díla bude potřeba 11ks svorníků délky 2,5m.

- Doba operace vrtání svorníku pomocí vrtacího vozu bude:

$$T_v = \frac{N_{sv}}{\alpha \cdot n} \cdot \left(\frac{L_{sv}}{v_s^t} + t_p \right) = \frac{11}{0,85 \cdot 1} \cdot \left(\frac{250}{110} + 0,8 \right) = 40 \text{ min}$$

- Doba instalace svorníku a mřížoviny T_{sv} [min]

$$T_{sv} = \frac{N_{sv} \cdot t_1}{\alpha \cdot n} = \frac{11 \cdot 8}{0,85 \cdot 1} = 103,5 \text{ min}$$

- Doba přípravy a zakončení operace T_{pz} [min]

$$T_{pz} \approx 25 \text{ min}$$

Celková doba pak bude:

$$T_{vyzt} = T_v + T_{sv} + T_{pz} = 40 + 103,5 + 25 = 169 \text{ min}$$

Celková doba operace vyztužení bude trvat cca 169 min (2,5 hodin).

Pro jednotlivé operace razícího cyklu byly stanoveny časy trvání dané operace. Jednotlivé časy jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12 Graf časů jednotlivých operací

| Pořadové č. | Operace | Doba trvání operace | Osádka | Doba | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------------|---------------------|--------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | | | | 6:00 | 7:00 | 8:00 | 9:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | |
| 1 | Chůze na pracoviště, jídel. Přestávka | 20' ; 15' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Vrtání | 153' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Prodlužování předsuvné koleje | 20' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Nabíjení a odstřel | 52' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Čekací doba po odstřelu | 15' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Prohlídka čelby po odstřelu | 10' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Nakládání a odstřelení | 160' | 7 | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Vvztužování | 169' | 7 | | | | | | | | | | | | |

Celková doba jednoho razícího cyklu s délkou záběru 1,5m pro plochu čelby 14,8 m² bude celkově trvat cca 10 hodin.

Měsíční postup ražby jsme vypočítali na základě předpokladu: délka směny cca 10 hodin a 22 pracovních dnů v měsíci.

$$M = \frac{24 \text{ hod} \cdot \text{počet prac. dnů}}{\text{doba trvání 1 prac. cyklu}} \cdot z_{sk} = \frac{24 \cdot 22}{\left(\frac{614}{60}\right)} \cdot 1,5 \doteq 78 \text{ m}$$

Postup ražby bude asi 78 m měsíčně v plném profilu.

5. Závěr

Cílem této bakalářské práce byl popis současného stavu ražení podzemního díla v Bukově, popis konvenčního ražení a praktický návrh ražení podzemního díla ve specifických podmínkách tvrdých skalních hornin.

První kapitola se zabývala ražením podzemních chodeb v místě bývalého dolu Rožná a popsali jsme si ve zkratce proč se zde ražení provádí. Byla zmíněna situace při ražení první etapy a druhé etapy laboratoře Bukov, jaké podmínky ražbu provázely a jak se postupovalo. Na závěr byla uvedena geologie okolí, kde byly raženy obě etapy.

Druhá kapitola obecně popisovala hlavní operace razícího cyklu. Byly zde popsány operace vrtání pomocí vrtacích vozů. Operace trhacích prací, jaké výbušniny používáme k ražení důlních děl, použití rozněcovadel a pomůcky pro použití výbušnin. Odkliz horniny z čelby, kritéria pro volbu nakladače a popis přehazovacích nakladačů. Na závěr byla popsána operace vyztužení.

V poslední kapitole se zabýváme komplexním technologickým postupem pro ražení horizontální chodby. V návrhu byl vypracován pasport trhacích prací, včetně roznětu a výpočtu počáteční koncentrace oxidu uhelnatého. Pro provedení trhacích prací byl vybrán klínový zálom a skalní důlní trhavina Perunit E. Z tohoto návrhu nám vyšla konečná hodnota 44 vývrtů a 62 kg trhaviny potřebné na 1,5 m zabírky. Pro roznět byla vybrána kondenzační roznětnice RKC-1 a rozbušky DeM a DeD. Z pasportu nám vyšlo, že jeden záběr 1,5m obsahující 44 rozbušek a 62 kg trhaviny bude trvat 875 ms.

Prvním úkolem při návrhu hlavních operací je vrtání vývrtů. V návrhu bylo uvažováno vrtání s použitím vrtacího vozu Sandvik DD212. Výběr zmíněného vrtacího vozu byl ovlivněn malými rozměry chodby a vlastnostmi hornin v kterých se mělo vrtat. K vyvrtání 44 vrtů je třeba asi dvě a půl hodiny. Čas by se signifikantně zkrátil, kdyby bylo použito dvouramenného vrtacího vozu místo jednoramenného.

Dále se počítaly operace trhacích prací, kdy se počítala doba nabíjení a odstřelu. Z ní nám vyplynul celkový čas strávený trhacími pracemi cca 74 minut. Pro odvedení škodlivin z místa čelby zde bylo navrženo foukací větrání.

Předposlední operace byla operace odklizu vyražené zabírky. Zde bylo navrženo nakládání pomocí kolejových přehazovacích nakladačů PPN-1 S, které přehazovaly horninu do důlních vozíků JDV. Vypočítala se optimální vzdálenost výhybky od čelby, která byla po zaokrouhlení 15 m. Abychom mohli určit dobu nakládání a odtěžení, vypočítali jsme výkon nakládání. Doba naložení a odtěžení byla cca 160 minut.

Nejdéle trvající operace nám vyšla operace vyztužení, byly zde navrženy parametry svorníků a výpočet délky svorníků. Pro obvod díla na 1bm raženého díla bude potřeba 11 ks svorníků. Operace vyztužení zabrala nejvíce času a to 169 minut, což bylo cca o 10 minut déle než odkliz.

Závěrem jsme spočítali měsíční postup ražby. Na základě předpokladu, že délka směny bude cca 10 hodin a v měsíci bude 22 pracovních dnů, bude postup ražby cca 78 m měsíčně v plném profilu.

V České republice se hlubinné ražby pro účely těžení uranu již přestaly používat a těžení uhlí se chýlí ke konci. S ohledem na potřebu uložení nebezpečných radioaktivních materiálů do prostředí velmi tvrdých skalních hornin, je ale toto téma stále aktuální.

Seznam zdrojů knižní literatury

- [1] Klepsatel, F. [i] Výstavba tunelů ve skalních horninách [i]. Jaga Bratislava 2003
- [2] Exner, K. [i] Ražení důlních děl. [i] 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991, 240 s. ISBN 80-707-8077-0.
- [3] Pravda, V., Bětík, J. [i] Trhací práce v hornictví, stavebnictví a speleologii. [i] Jesenice u Prahy: Montanika o.s., 2010. ISBN: 978-80-254-8542-2.
- [4] Valachovič, F. [i] Razenie banských diel. [i], Alfa, Bratislava 1977.

Seznam internetových zdrojů

- [5] Prepared by the Working Party on Nuclear Corrosion. (1992). *Corrosion Problems Related to Nuclear Waste Disposal: (EFC 7) - 1.1 Introduction: Waste Inventories and Repository Concepts*. Maney Publishing. [online]. [cit. 2021-01-10].
Dostupné z: <https://app.knovel.com/hotlink/pdf/id:kt003ZL0UR/corrosion-problems-related/introduction-waste-inventories>
- [6] *Podzemní výzkumné pracoviště BUKOV* [online]: atominfo, [cit. 2020-02-21]
Dostupné z: <https://atominfo.cz/2020/02/podzemni-vyzkumne-pracoviste-bukov/>
- [7] https://www.surao.cz/wp-content/uploads/2019/09/surao_brozura_bukov_online.pdf
[online]. [cit. 2020-02-10]
- [8] <https://www.surao.cz/wp-content/uploads/2020/09/Presskit-HU-final.pdf> [online].
[cit. 2021-01-10]
- [9] SMUTEK, Jan, Lukáš VONDROVIC a Jaromír AUGUSTA. PVP BUKOV – GENERICKÁ LABORATOŘ PRO PODPORU PROJEKTU HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ. *Tunel* [online]. 2020, **29**(1), 44-53 [cit. 2021-01-21]. ISSN 12110728.
Dostupné z: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&an=143463946&scope=site>

-
- [10] AUGUSTA, Jaromír, Jiří SLOVÁK, Jan SMUTEK, Lukáš VONDROVIC, Petr KŘÍŽ a Pavol MAGYAR *Výstavba a charakterizace Podzemního výzkumného pracoviště Bukov* [online]. 2018, [cit. 2021-01-21].
Dostupné z:
https://www.researchgate.net/publication/325443480_Vystavba_a_charakterizace_Podzemniho_vyzkumneho_pracoviste_Bukov
- [11] DOHNÁLKOVÁ, Markéta, Marek VENCL, Lucie GORČICA a Jozef URÍK *2. ETAPA VÝSTAVBY PODZEMNÍHO VÝZKUMNÉHO PRACOVISTĚ BUKOV* Konference Geotechnika 2020, článek.
- [12] Želatinované trhaviny, firma Explosia [online]. [cit. 2021-01-24]. Dostupné z:
<https://explosia.cz/produkty/trhaviny/zelatinovane-trhaviny/>
- [13] Lžicový přehazovací nakladač, firma Ortas [online]. [cit. 2021-01-25]. Dostupné z:
<https://www.ortas.cz/nakladac-ppn/>
- [14] KUBIVA, Jan, Jan KROUL *Geotechnika 1 dobývání ložisek a nerostů* [online]. 2013, [cit. 2021-03-25].
Dostupné z: <http://www.spskarvina.cz/www/images/stories/HORNIK/Geotechnika-1.pdf>
- [15] Jednoramenný elektrohydraulický strojní vrták Sandvik DD212, firma SANDVIK [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z:
<https://www.rocktechnology.sandvik/en/products/underground-drill-rigs-and-bolters/mining-jumbos/dd212-development-drill-rig/>
- [16] Dvouramenný vrtací vůz BWA-3, firma IDA PRO [online]. [cit. 2021-04-17].
Dostupné z: <https://www.idapro.cz/index.php/dulni-stroje/vrtaci-vuz-bwa-3/>
- [17] Roznětnice RKC-1, firma SEKORO [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z:
<http://www.sekoro.wz.cz/>
- [18] Elektrické rozbušky, firma AUSTINPOWDER [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: https://www.austinpowder.com/wp-content/uploads/2019/01/CS_GS-Electric_detonators.pdf

- [19] Tlakovzdušná lokomotiva, [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z:
<https://www.zdarbuh.cz/technika/doprava/tlakovzdusna-lokomotiva-typu-bvd-40/>
- [20] *Mechanizace používaná na UD Dolní Rožínka* [online]: zdarbuh, [cit. 2020-04-20]
Dostupné z: <https://www.zdarbuh.cz/technika/dobyvani/mechanizace-pouzivana-na-ud-dolni-rozinka/>
- [21] Ruční vrtací kladivo VK-22, [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z:
<https://www.filamos.cz/stavebni-stroje/vrtna-technika/rucni-vrtaci-kladiva/>
- [22] Dietrich, R.V., 2005: Migmatite [online]. cst.cmich.edu, 3.6.2009 [cit. 2021-04-18].
Dostupné z:
<https://web.archive.org/web/20120222032303/http://www.cst.cmich.edu/users/dietr1rv/migmatite.htm>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Schéma hlavních důlních děl dolu Rožná I s vyznačením pozice PVP Bukov | 3 |
| Obrázek 2 Ukázka výbrusů hornin z PVP Bukov | 3 |
| Obrázek 3 Prostorové schema PVP Bukov s vyznačením probíhajících a plánovaných aktivit | 4 |
| Obrázek 4 Situace PVP Bukov – II. Etapa | 5 |
| Obrázek 5 Geologická mapa místa PVP Bukov | 6 |
| Obrázek 6 Ukázka porušení zkušebních těles migmatitů po zkouškách pevnosti | 7 |
| Obrázek 7 Ruční vrtací kladivo VK-22 | 9 |
| Obrázek 8 Vrtací vůz BWA-3 | 10 |
| Obrázek 9 Lehké vrtací kladivo na pneumatické vzpěře | 11 |
| Obrázek 10 SEMTEX 1A | 13 |
| Obrázek 11 Barevné odlišení bleskovic dle obsahu výbušniny | 14 |
| Obrázek 12 Lžicový přehazovací nakladač PPN | 16 |
| Obrázek 13 Svorník ocelový nepoddajný | 17 |
| Obrázek 14 Perunit E | 19 |
| Obrázek 15 Vrtné schéma | 25 |
| Obrázek 16 Sandvik DD212 | 27 |
| Obrázek 17 Hydraulické vrtací kladivo RDX5 | 27 |
| Obrázek 18 Postup vrtání | 28 |
| Obrázek 19 Svislý řez chodby | 30 |
| Obrázek 20 Schéma odtěžení | 32 |

Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 parametry trhaviny Perunit E | 19 |
| Tabulka 2 výsledky empirických vztahů pro qstř | 20 |
| Tabulka 3 výsledky empirických vztahů pro N_c | 21 |
| Tabulka 4 Parametry roznětnice RKC-1 | 24 |
| Tabulka 5 Parametry rozbušek DeM a DeD | 24 |
| Tabulka 6 Pasport trhacích prací | 26 |
| Tabulka 7 Nabíjecí plán | 26 |
| Tabulka 8 Parametry vrtacího vozu SANVIDK DD212..... | 28 |
| Tabulka 9 Parametry přehazovacího nakladače PPN-1S | 31 |
| Tabulka 10 Parametry důlního vozu JDV 1,00.2 | 31 |
| Tabulka 11 Parametry důlní lokomotivy BVD-40 | 31 |
| Tabulka 12 Výsledky empirických vztahů pro šířku rozvolněné zóny | 33 |

Přílohová část

Pasport trhacích prací

1. Parametr odstřelu

Protodjakonova konstanta : 16

$F_{SV} : 14,80 \text{ m}^2 = F_{HR} : 14,80 \text{ m}^2$

Volba zálomu : Klínový horizontální, sbíhavý zálom

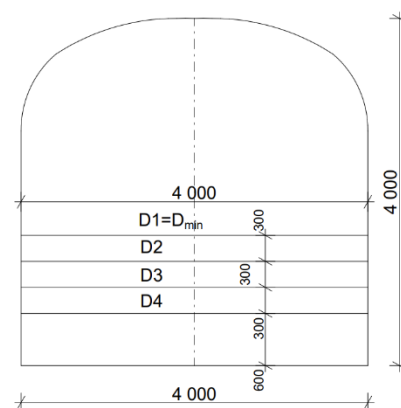
- Parametry zálomu – P = 16

- $a = 300 \text{ mm}$
- $\alpha = 60^\circ$
- $N_z = 8$
- $x = 15 \text{ cm}$

- Stanovení zabírky zálomu z_z [m]

$$z_z = \frac{D_{\min} - x}{4} \cdot \tan \alpha - 0,1 \sin \alpha = \frac{4000 - 150}{4} \cdot \tan 60 - 0,1 \sin 60 = 1667 \text{ mm} = 1,667 \text{ m}$$

$z_z = 1,667 \text{ m}$



- Stanovení délky zálomového vrtu l_z [m]

$$l_z = \frac{z_z}{\sin \alpha} = \frac{1667}{\sin 60} = 1925 \text{ mm} = 1,925 \text{ m}$$

$l_z = 1,925 \text{ m}$

- Vzdálenost ústí zálomových vývrtů od osy zálomů R [m]

$$R = \sqrt{l_z^2 - z_z^2} + 0,5 \cdot x = \sqrt{1,925^2 - 1,667^2} + 0,5 \cdot 0,15 = 1,038 \text{ m}$$

- Stanovení skutečné zabírky z_{sk} [m]

$$z_{sk} = z_z \cdot k_p = 1,667 \cdot 0,9 = 1,5 \text{ m}$$

$z_{sk} = 1,5 \text{ m}$

k_p = koeficient využití vývrtu $k_p = 0,9 \sim 0,95 \rightarrow$ volím $k_p = 0,9$

Volba trhaviny : PERUNIT E

Hustota trhaviny (γ) = 1 380 kg/m³

Specifický objem zplodin (V_0) = 0,858 m³/kg

Výduť v TRAZZLU (R_T) = 385 cm³

Průměr náložek (d_n) = 32 mm

Hmotnost náložky (Q_1) = 0,500 kg

Délka náložek (l_n) = 0,320 m

Toxické plyny (CO,NO_x) = 2,32 % , 0,23%

- **Střední měrná spotřeba trhaviny $q_{stř}$ [kg/m³] :**

Podle PROTODJAKONOVA I.

$$q_{stř} = \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} = \sqrt{\frac{16}{14,8}} = \underline{\underline{1,040}} \text{ kg/m}^3$$

Podle PROTODJAKONOVA II:

$$q_{stř} = 0,5 \left(\sqrt{0,2 \cdot f} + \frac{1}{\sqrt{F_{hr}}} \right)^2 = 0,5 \cdot \left(\sqrt{0,2 \cdot 16} + \frac{1}{\sqrt{14,8}} \right)^2 = \underline{\underline{2,099}} \text{ kg/m}^3$$

Podle IBRAJEVA :

$$q_{stř} = \frac{\sqrt{f} - a \cdot \sqrt{F_{hr}}}{t} = \frac{\sqrt{16} - 0,25 \cdot \sqrt{14,8}}{1,4} = \underline{\underline{2,170}} \text{ kg/m}^3$$

a = 0,25 (Koeficient úklonu díla)

t = 1,4 (Koeficient pracovní schopnosti trhaviny)

Podle POKROBSKÉHO :

$$q_{stř} = s_1 \cdot s_2 \cdot n \cdot e = 1,6 \cdot 1,1 \cdot 1,690 \cdot 1,039 = \underline{\underline{3,090}} \text{ kg/m}^3$$

S₁ = 0,1. f = 0,1 . 16 = 1,6 (Součinitel rozpojitelnosti horniny)

S₂ = 1,1 (Součinitel struktury horniny v čelbě)

$$n = \frac{6,5}{\sqrt{F_{hr}}} = \frac{6,5}{\sqrt{14,8}} = 1,690 \text{ (Součinitel upnutí horniny)}$$

$$e = \frac{400}{R_t} = \frac{400}{385} = 1,039 \text{ (Součinitel pracovní schopnosti)}$$

Podle ČUPRONOVA :

$$q_{stř} = m \cdot \left(\frac{0,6 \cdot e \cdot \sqrt{f}}{\sqrt{x}} - 0,05 \sqrt{f \cdot F_{hr}} \right) = 1 \cdot \left(\frac{0,6 \cdot 1,039 \cdot \sqrt{16}}{\sqrt{1,000}} - 0,05 \cdot \sqrt{16 \cdot 14,8} \right) = \underline{\underline{1,724}} \text{ kg/m}^3$$

$m = 1$ (koeficient volných ploch)

$$x = \frac{d_n}{32} = \frac{32}{32} = 1,000 \text{ (Součinitel pracovní schopnosti)}$$

Podle LANGEFORSE :

$$q_{stř} = \frac{14}{F_{hr}} + 0,8 = \frac{14}{14,8} + 0,8 = \underline{\underline{1,746}} \text{ kg/m}^3$$

Podle OKR (VVUÚ) :

$$q_{stř} = 2,16 \cdot m \cdot b \cdot c \cdot e \cdot k = 2,16 \cdot 4,6 \cdot 0,26 \cdot 0,643 \cdot 0,86 \cdot 1,02 = \underline{\underline{1,457}} \text{ kg/m}^3$$

$m = 4,6$ $b = 0,26$ $c = 0,643$ $e = 0,86$ $k = 1,02 \rightarrow$ hodnoty z tabulek

Podle MHD (Rudné doly) :

$$q_{stř} = q \cdot x \cdot y = 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,1 = \underline{\underline{1,430}} \text{ kg/m}^3$$

$x = 1,0$ $y = 1,1$ $q = 1,3$

Podle VŠB :

$$q_{stř} = \left(\sqrt{f} + a \cdot \sqrt{F_{hr}} \right) \left(0,17 + \frac{67}{R_T} \right) \cdot z_{sk} = \left(\sqrt{16} + 0,25 \cdot \sqrt{14,8} \right) \cdot \left(0,17 + \frac{67}{385} \right) \cdot 1,5 = \underline{\underline{2,560}} \text{ kg/m}^3$$

$a =$ koeficient úklonu díla pro horizontální díla $= 0,25$

$$\text{Průměr : } q_{stř} = \frac{1,040+2,099+2,170+3,090+1,724+1,746+1,457+1,430+2,560}{9} = 1,924 \text{ kg/m}^3$$

- Měrná spotřeba trhaviny v zálomu q_z [kg.m-3] :

$$q_z = \frac{q_{stř} \cdot F_{hr} \cdot z_z}{V_z + 0,6(F_{hr} \cdot z_z - V_z)} = \frac{1,924 \cdot 14,8 \cdot 1,667}{1,67 + 0,6 \cdot (14,8 \cdot 1,667 - 1,67)} = 3,068 \text{ kg/m}^3$$

$$V_z = \frac{2 \cdot R + x}{2} \cdot z_z \cdot \sum a = \frac{2 \cdot 1,038 + 0,15}{2} \cdot 1,667 \cdot 0,900 = 1,67 \text{ m}^3$$

V_z = objem klínu zálomu

- Měrná spotřeba trhaviny v pomocných vrtech q_p [kg.m-3] :

$$q_p = 0,6 \cdot q_z = 0,6 \cdot 3,068 = 1,841 \text{ kg/m}^3$$

$$q_z > q_{stř} > q_p \quad 3,068 > 1,924 > 1,841 \quad \rightarrow \quad \underline{\text{Podmínka vyhovuje}}$$

- Hmotnost nálože v zálomu Q_z [kg]

$$Q_z = q_z \cdot V_z = 3,068 \cdot 1,67 = 5,124 \text{ kg}$$

- Hmotnost 1. zálomové nálože Q_{1z} [kg/1.vrt]

$$Q_{1z} = \frac{Q_z}{N_z} = \frac{5,124}{8} = 0,6404 \text{ kg} \rightarrow Q_{1z,oprav} = 1 \text{ kg} \rightarrow 2 \text{ náložky} \rightarrow l = 0,320 \text{ m}$$

Délka zálomové nálože: 1 náložka $\cdot l_n = 2 \cdot 0,320 = 0,640 \text{ m}$

$$0,640 < 0,4 \cdot l_z$$

$$0,640 < 0,4 \cdot 1,925$$

$$0,640 < 0,77 \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

- Opravená hmotnost nálože v zálomu $Q_{z,opr}$ [kg]

$$Q_{z,opr} = Q_{1z,oprav} \cdot N_z = 1,0 \cdot 8 = 8 \text{ kg}$$

- **Celkový počet vývrtů na čelbě = počet náloží N_c**

Dle PROTODJAKONOVA I. :

$$N_c = 2,7 \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr} = 2,7 \sqrt{\frac{16}{14,8}} \cdot 14,8 = \mathbf{41,55}$$

Dle PROTODJAKONOVA II. :

$$N_c = \left(\sqrt{0,2 \cdot f} + \frac{1}{\sqrt{F_{hr}}} \right)^2 \cdot F_{hr} = \left(\sqrt{0,2 \cdot 16} + \frac{1}{\sqrt{14,8}} \right)^2 \cdot 14,8 = \mathbf{62,124}$$

Dle Bogomolova :

$$N_c = 2,3 \sqrt{\frac{f}{F_{hr}}} \cdot F_{hr} = 2,3 \sqrt{\frac{16}{14,8}} \cdot 14,8 = \mathbf{35,393}$$

Dle koeficient nabití k_n :

$$N_c = \frac{4 \cdot q_{stř} \cdot F_{hr}}{\pi \cdot d_n^2 \cdot \gamma \cdot k_n} = \frac{4 \cdot 1,924 \cdot 14,8}{\pi \cdot 0,038^2 \cdot 1380 \cdot 0,5} = \mathbf{36,39}$$

$$\text{Průměr : } N_c = \frac{41,55 + 62,124 + 35,393 + 36,39}{4} = \mathbf{43,86} \rightarrow \mathbf{44 \text{ vývrtů}}$$

- **Počet pomocných vývrtů na čelbě N_p**

$$N_p = N_c - N_z = 44 - 8 = \mathbf{36 \text{ vývrtů}}$$

- **Hmotnost nálože v pomocných vývrtech Q_p [kg]**

$$Q_p = q_p (F_{hr} \cdot z_z - V_z) = 1,841 (14,8 \cdot 1,667 - 1,67) = 42,3 = \mathbf{43 \text{ kg}}$$

- **Hmotnost nálože v 1.pomocném vývrtnu Q_{1p} [kg/1vrt]**

$$Q_{1p} = \frac{Q_p}{N_p} = \frac{43}{36} = 1,19 = 1,5 \text{ kg} \rightarrow Q_{1p,oprav} = 3 \text{ náložky} = 3 \cdot 0,5 = \mathbf{1,5 \text{ kg}}$$

- **Opravená hmotnost nálože v pomocných vrtech $Q_{p,opr}$ [kg]**

$$Q_{p,opr} = Q_{1p,oprav} \cdot N_p = 1,5 \cdot 36 = \mathbf{54 \text{ kg}}$$

- **Celková hmotnost nálože Q_c [kg]**

$$Q_c = Q_{z,opr} + Q_{p,opr} = 8 + 54 = \mathbf{62 \text{ kg}}$$

- **Rozmístění pomocných vrtů v čelbě :**

$$w_{\max} = \sqrt{\frac{l}{q_p}} = \sqrt{\frac{1,563}{1,841}} = \mathbf{0,92 \text{ m}}$$

$l =$ hmotnost 1 m souvislé nálože $l = \mathbf{1,563 \text{ kg}}$

1. vzdálenost mezi rozšiřovacími vrty a zálohem:

$$0,9 \cdot w_{\max} = 0,9 \cdot 0,92 = \mathbf{0,83 \text{ m}}$$

2. vzdálenost rozšiřovacích vrtů

$$0,9 \cdot w_{\max} = 0,9 \cdot 0,92 = \mathbf{0,83 \text{ m}}$$

3. vzdálenost obrysových patních vrtů

$$0,8 \cdot w_{\max} = 0,8 \cdot 0,92 = \mathbf{0,736 \text{ m}}$$

4. vzdálenost patních vrtů

$$0,9 \cdot w_{\max} = 0,9 \cdot 0,92 = \mathbf{0,83 \text{ m}}$$

5. vzdálenost ostatních obrysových vrtů

$$0,9 \cdot w_{\max} = 0,9 \cdot 0,92 = \mathbf{0,83 \text{ m}}$$

- **Škodlivé účinky odstřelu :**

$$V_{\text{šk}} = Q_c \left(\frac{\%CO}{100} \cdot V_o + 6,5 \frac{\%NO_2}{100} V_o \right) = 116 \cdot \left(\frac{2,32}{100} \cdot 0,858 + 6,5 \cdot \frac{0,23}{100} \cdot 0,858 \right) = \mathbf{3,797 \text{ m}^3}$$

$$k_{\%CO} = \frac{V_{\text{šk}}}{V} \cdot 100 = \frac{3,797}{148} \cdot 100 = \mathbf{2,57 \%CO}$$

$$V = F_{sv} \cdot l = 14,8 \cdot 10 = \mathbf{148 \text{ m}^3} \quad l = \text{vzdálenost difúze zplodin od čelby [m], } \sim 10 \text{ m}$$

2. Návrh elektrického roznětu

- Roznětnice
 - RKC-1
 - $U = 1000 \text{ V}$
 - $c = 2,40 \cdot 10^{-5} \text{ F}$
 - $L_{z,aktiv} = 18 \text{ mJ/Q}$
- Návrh hlavního přívodního vedení
 - $L_{př.v} = 120 \text{ m}$
 - 2 prameny
 - $\rho_{(Cu)} = 0,022 \text{ } \Omega/\text{m} \rightarrow \varnothing = 1 \text{ mm}$

Odpor hlavního vedení

- $R_{hv} = 2 \cdot L_{př.v} \cdot \rho_{(Cu)} = 2 \cdot 120 \cdot 0,022 = \mathbf{5,28 \text{ } \Omega}$

Tabulka Parametry rozbušek DeM a DeD

| Typ rozbušky / označení | Počet stupňů | Interval zpoždění (ms) | Barva izolace | Materiál přívodních vodičů | Elektrická odolnost (Ω) | Aktivační impulz (mJ/ Ω) | Bezpečný proud (A) |
|-------------------------|--------------|------------------------|---------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Milisekundová / DEM | 1-30 | 25 | Žlutá | Cu | 0,5-0,6 | 16 | 0,45 |
| Čtvrtsekundová / DED | 1-36 | 250 | Zelená | Cu | 0,5-0,6 | 16 | 0,45 |

- Volba rozbušky SO – S
 - $R_m = 0,5 \text{ } \Omega$
 - $\rho_{(Cu)} = 0,0925 \text{ } \Omega/\text{m} \rightarrow \varnothing = 0,5 \text{ mm}$
 - $l = 2,2 \text{ m}$
 - $t_z = 0,004 \text{ s}$

Odpor jedné rozbušky

$$R_1 = R_m + \rho_{(Cu)} \cdot l \cdot 2 = 0,5 + 0,0925 \cdot 2,2 \cdot 2 = \mathbf{0,907 \text{ } \Omega}$$

Odpor všech rozbušek

$$R_2 = N_c \cdot R_1 = 44 \cdot 0,907 = \mathbf{39,908 \text{ } \Omega}$$

Celkový odpor sítě – sériové zapojení

$$R_s = R_{HV} + R_2 = 5,28 + 35,373 = \mathbf{40,653 \text{ } \Omega}$$

- Posouzení jistoty roznětu

$$\begin{aligned}
 L_z &= \frac{U^2 \cdot c}{2 \cdot (n^2 \cdot R_{HV} + R_2)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2 \cdot t_z}{\tau}}\right) \\
 &= \frac{1000^2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot (1^2 \cdot 5,28 + 39,908)} \cdot \left(1 - e^{-\frac{2,0,004}{1,08451 \cdot 10^{-3}}}\right) \\
 &= 0,265391 \text{ J}/\Omega = \mathbf{265,391 \text{ mJ}/\Omega}
 \end{aligned}$$

$$\tau = c \cdot \left(R_{HV} + \frac{R_2}{n^2}\right) = 2,40 \cdot 10^{-5} \cdot \left(5,28 + \frac{39,908}{1^2}\right) = \mathbf{1,08451 \cdot 10^{-3} \text{ s}}$$

$$L_z = 265,391 \text{ mJ}/\Omega > L_{z,\text{aktiv}} = 18 \text{ mJ}/\Omega \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Zapojení uvažují sériové (n=1)

Operace vrtání

Strojní vrtání

Volba směnové osádky $\rightarrow F_{sv} = 14,80 \text{ m}^2 \rightarrow N = 7$ pracovníků

1. Volba typu vrtacího vozu

Typ: Sandvik DD212

Počet jednotek: 1

Výška os nad počvou: 1300 mm

Mrtvá zóna M: 400 mm (\emptyset)

Poloměr dosahu R: 4707 mm

2. Doba trvání operace

$$t_v = \frac{N}{\alpha \cdot p} \left(\frac{l}{v_{ef}} + t_p \right) + T_{pz} = \frac{44}{0,80 \cdot 1} \cdot \left(\frac{179,6}{110} + 0,6 \right) + 30 = 152,8 = \mathbf{153 \text{ min}}$$

N – počet vrtů α – koeficient spoluúčinnosti kladiv t_p – pomocný čas na 1. vývrt [min]

p – počet současně pracujících kladiv na čelbě l – průměrná délka vývrtu [m]

v_{ef} – efektivní vrtná rychlost [$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$] T_{pz} – doba na přípravu a ukončení práce

Operace trhací práce

1. Doba nabíjení a odstřelu

čas nabíjení a odstřelu : $T'_n = t'_n + t''_n = 7 + 45 = 52 \text{ min}$

čas pro přípravu TP : $t'_n = \frac{t_p}{n_n} = \frac{45}{7} = 6,43 = 7 \text{ min}$

čas pro nabíjení a odstřel : $t''_n = N_c \cdot l \cdot t_n = 44,1,796,0,57 = 39,9 = 45 \text{ min}$

t_n – normativ pro nabití jednoho vývrtu [min]

l – průměrná délka vývrtu [m]

N_c – celkový počet nabíjených vrtů

2. Výpočet parametrů větrání

• Volba způsobu větrání

- foukací způsob

• Výpočet objemového průtoku větrů

$$Q_f = \frac{0,357}{t} \cdot \sqrt{Q_c \cdot F_{sv} \cdot L} = \frac{0,357}{15} \cdot \sqrt{62,14,8,150} = 8,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Q_c – celková hmotnost nálože [kg]

t – čekací doba po odstřelu [min]

L – kritická délka lutnového tahu [m]

• Optimální průměr luten

$$d = \sqrt[6,53]{\frac{1,5853 \cdot Q^3 \cdot L \cdot z}{10^6 \cdot v_p}} = \sqrt[6,53]{\frac{1,5853 \cdot 8,83^3 \cdot 150,1}{10^6 \cdot 3}} = 0,641 = 0,65 \text{ m}$$

V_p – předpokládaný denní postup

z – předpokládaný počet použití luten

- Výpočet tlakového spádu

$$h = 0,08263 \cdot \lambda \cdot \frac{\gamma}{d^5} \cdot L \cdot Q^2 = 0,08263 \cdot 0,01 \cdot \frac{1,23}{0,65^5} \cdot 150 \cdot 8,83^2 = \mathbf{102,44 \text{ Pa}}$$

λ – třecí koeficient luten

γ – měrná hmotnost důlních větrů [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

d – navržený průměr luten

- Výkon ventilátorů N [kW]

$$N = \frac{Q \cdot h}{1020 \cdot \eta} = \frac{8,83 \cdot 102,44}{1020 \cdot 0,72} = \mathbf{1,23 \text{ kW}}$$

η - účinnost ventilátorů

3. Prohlídka čelby po odstřelu

$$T_p = 7 \text{ min}$$

4. Celkový čas operace trhacích prací

$$T_{TP} = T_n + T_c + T_p = 52 + 15 + 7 = \mathbf{74 \text{ min}}$$

T_c – čekací doba

Operace odtěžení

1. Typ nakladače:

- Přehazovací nakladač PPN – 1 S

- Rozměry: 1,32 x 2,25 x 2,27 m

- Objem lžíce: 0,24 m³
- Počet cyklů: 3-4 za min
- Maximální šířka záběru: 2,2 m

2. Volba prostředků odtěžení

Důlní vozík:

- Typ: JDV 1,00 . 2
- Rozměry: 800 x 1080 x 1850 mm
- Objem korby - 1,0 m³ = Q_t

Důlní lokomotiva:

- Typ: BVD-40
- Rozměry: 950 x 1650 x 5 220 mm
- Druh pohonu – vzduchový motor

3. Optimální vzdálenost od čelby

$$L_{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_p}{n_v \cdot t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12\,000}{38,2,86}} = 14,86 \text{ m} \doteq \mathbf{15 \text{ m}}$$

T_p – doba přesunu výhybky [s]

Počet vozů pro odtěžení horniny z 1. zabírky n_v [-]

$$n_v = \frac{F_{hr} \cdot z_{sk} \cdot k_n}{Q} = \frac{14,8 \cdot 1,5 \cdot 1,6}{0,95} = 37,39 = \mathbf{38 \text{ vozů}}$$

k_n – koeficient nakypření horniny

Q – užitný objem vozu

$$Q = Q_t \cdot k_p'' = 1,0 \cdot 0,95 = \mathbf{0,95 \, m^3}$$

k_p'' - koeficient plnění vozu

čas na projetí 1 bm tratě t [s]

$$t = \frac{4}{v_1 + v_2} = \frac{4}{0,6 + 0,8} = \mathbf{2,86 \, s}$$

v_1 – rychlost posunu plného vozu [$m \cdot s^{-1}$]

v_2 – rychlost posunu prázdného vozu [$m \cdot s^{-1}$]

Výkon přehazovacího nakladače Q_t [m^3/min]

$$Q_t = n_c \cdot q \cdot k_n \cdot k_p = 4 \cdot 0,23 \cdot 0,9 \cdot 0,95 = \mathbf{0,79 \, [m^3/min]}$$

4. Výkon nakládání P_{sk} [$m^3 \cdot hod^{-1}$]

$$P_{sk} = \frac{60 \cdot q \cdot \eta \cdot n \cdot k}{t_n + t_v \cdot \frac{q}{Q} + t_v' \cdot \frac{q}{Q} \cdot v} = \frac{60 \cdot 0,23 \cdot 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0}{0,25 + 1,42 \cdot \frac{0,23}{0,95} + 10 \cdot \frac{0,23}{0,95 \cdot 20} \cdot 1,0} = \mathbf{18,3 \, [m^3/hod]}$$

Užitný objem lžíce q [m^3]

$$q = q_t \cdot k_p = 0,24 \cdot 0,95 = \mathbf{0,23 \, m^3}$$

Doba výměny jednoho vozu t_v [min]

$$t_v = \frac{L_{opt}}{60 \cdot v_1} + \frac{L_{opt}}{60 \cdot v_2} + t_{pr} = \frac{14,86}{60 \cdot 0,6} + \frac{14,86}{60 \cdot 0,8} + 0,7 = \mathbf{1,42 \, min}$$

Počet výměn vlaků v [-]

$$v = \frac{n_v}{i} - 1 = \frac{38}{20} - 1 = 0,9 \doteq \mathbf{1}$$

η – součinitel časového využití stroje

n – počet nakladačů

k – koeficient spoluúčinnosti nakladačů

t_n – doba trvání 1. pracovního cyklu lžíce [min]

t_v' – průměrná doba výměny vlakové soupravy [min]

i – počet vozů ve vlaku

t_{pr} – doba průjezdu výhybkou [min]

5. Doba operace nakládání a odtěžení

$$T_{nakl} = \frac{F_{hr} \cdot z_{sk} \cdot k_n}{P_{sk}} + T_{pz} = \frac{14,8 \cdot 1,5 \cdot 1,7}{18,3} + 0,6 = 2,66 \text{ hod} \doteq 160 \text{ min}$$

P_{sk} – výkon nakládání [$\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$]

z_{sk} – skutečná zabírka [m]

F_{hr} – hrubý průřez díla [m^2]

k_n – koeficient nakypření horniny

Pomocný čas na přípravu a zakončení operace T_{pz} [hod]

$$T_{pz} = \frac{N_{pz}}{n} + z_{sk} \cdot \frac{N_p}{n} = \frac{74}{7} + 1,5 \cdot \frac{115}{7} = 35,21 \doteq 36 \text{ min} = 0,6 \text{ hod}$$

N_{pz} – normativ pro přípravu a zakončení operace

N_p – normativ pro pomocné operace

Dimenze svorníkové výztuže

1. Určení šířky rozvolněné zóny

1.1. Mostkov I.

$$b = k \cdot l = 0,05 \cdot 4,0 = 0,2 \text{ m}$$

$k = 0,05$ k – koeficient proporcionality (dle horniny)

$l = 4,0 \text{ m}$ l – šířka díla [m]

1.2. Mostkov II.

$$b = \frac{e^{m \cdot \frac{\pi}{2}} - 1}{2 \cdot \sin \frac{\alpha_0}{2}} \cdot l = \frac{e^{0,05 \cdot \frac{\pi}{2}} - 1}{2 \cdot \sin \frac{90}{2}} \cdot 4,0 = \mathbf{0,231 \text{ m}}$$

$m = 0,05$ m – součinitel horniny

$\alpha = 90^\circ$ α – střední úhel klenby díla

$l = 4,0 \text{ [m]}$ l – šířka díla

1.3. Protodjakonov

$$b = \frac{l}{2f} = \frac{4,0}{2 \cdot 16} = 0,125 \qquad l = 4,0 \text{ [m]} \quad l - \text{šířka díla}$$

Volím největší $b_{\max} \rightarrow \mathbf{\underline{b = 0,231 \text{ m}}}$

2. Parametry svorníku

Volba materiálu: - betonářská ocel \rightarrow **10 425**; Průměr = **25 mm**; $f_{yk} = 425 \text{ Mpa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{425}{1,15} = \mathbf{369,57 \text{ MPa}}$$

2.1. Délka svorníku

$$L_{SV} = b + L_k + L_Z = 0,231 + 0,962 + 0,1 = 1,293 = \mathbf{2,5 \text{ m}}$$

\rightarrow **Navrhuji minimální délku svorníku 2,5 m.**

$$L_k = \frac{P_{\max}}{\pi \cdot d_v \cdot \tau} \cdot k_b \geq 0,5 \text{ m} \rightarrow \frac{181\,412}{\pi \cdot 0,03 \cdot 3 \cdot 10^6} \cdot 1,5 = \mathbf{0,962 \text{ m}} > 0,5 \text{ Vyhovuje}$$

$$P_{\max} = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{\pi \cdot 25^2}{4} \cdot 369,57 = \mathbf{181\,412 \text{ N}}$$

P_{\max} – únosnost kotvy [N]

d_v – průměr vývrtu [m]

τ – soudržnost mezi tmelem a horninou [Pa]

k_b – stupeň bezpečnosti

f_{yd} – výpočtové namáhání svorníku v tahu [MPa]

2.2. Objem tmele

$$V_t = \frac{\pi}{4} \cdot (d_v^2 - d_s^2) \cdot L_k = \frac{\pi}{4} \cdot (0,03^2 - 0,025^2) \cdot 0,962 = \mathbf{2,08 \cdot 10^{-2} m^3}$$

2.3. Rozteč svorníku a [m^2 /svorník]

Omezení vzniku tahových a smykových namáhání v patě klenby

$$a = (1 - z) \cdot L_{sv} = (1 - 6,867 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,5 = 2,48 \text{ m}^2 = \mathbf{2,5 \text{ m}^2}$$

$$z = k_0 \cdot \frac{q}{c} \cdot \left(1 + \frac{l}{L_{sv}}\right) = 0,2 \cdot \frac{4,0425}{480} \cdot \left(1 + \frac{4,0}{2,5}\right) = \mathbf{4,379 \cdot 10^{-3}}$$

$$q = k_z \cdot \gamma \cdot b = 0,7 \cdot 25 \cdot 0,231 = \mathbf{4,0425 \text{ kPa}}$$

k_0 – součinitel pevnosti horniny (0,25-0,2)

c – soudržnost horniny $c = 30 \cdot f = 30 \cdot 16 = 480 \text{ [kPa]}$

q – zatížení horniny [kPa]

k_z součinitel tvaru díla (0,7 - 0,9)

γ = objemová tíha horniny (cca. 25 kN.m⁻³)

Zachování soudržnosti horniny mezi svorníky

$$a = \frac{L_{sv}}{3} \cdot \sqrt{\frac{c}{q}} = \frac{2,5}{3} \cdot \sqrt{\frac{480}{4,0425}} = \mathbf{9,08 \text{ m}^2}$$

Zachování rovnosti mezi kotevní silou a tíhou klenby

$$a = \sqrt{\frac{P_{max}}{\gamma \cdot b}} = \sqrt{\frac{181,412}{25,0,231}} = \mathbf{5,6 \text{ m}^2}$$

$$a = a_{\min} = 2,5 \text{ m}^2 \rightarrow F = \frac{(2,5 \cdot 1)}{1} = 2,5 \text{ m}^2$$

$$N_{sv} = \frac{10,8}{1} = 10,8 \doteq 11 \text{ ks}$$

Operace vyztužení – svorníková výztuž

1. Doba operace vyztužování svorníky

$$T_{vyzt} = T_v + T_{sv} + T_{pz} = 40 + 103,5 + 25 = 169 \text{ min}$$

Doba vrtání vývrtů pro svorníky T_v [min]

$$T_v = \frac{N_{sv}}{\alpha \cdot n} \cdot \left(\frac{L_{sv}}{v_s^t} + t_p \right) = \frac{11}{0,85 \cdot 1} \cdot \left(\frac{250}{110} + 0,8 \right) = 40 \text{ min}$$

N_{sv} – počet vývrtů α – koeficient spoluúčinnosti kladiv

n – počet současně pracujících kladiv na čelbě L_{sv} – průměrná délka vrtu [m]

v_s – efektivní vrtná rychlost [$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$] t_p – pomocný čas na 1. vývrt [min]

Doba instalace svorníku a mřížoviny T_{sv} [min]

$$T_{sv} = \frac{N_{sv} \cdot t_1}{\alpha \cdot n} = \frac{11 \cdot 8}{0,85 \cdot 1} = 103,5 \text{ min}$$

Doba přípravy a zakončení operace T_{pz} [min]

$$T_{pz} \approx 25 \text{ min}$$

Měsíční postup ražby jsme spočetli na základě předpokladu délce asi 10 hodin s uvažováním 22 pracovních dnů v měsíci .

$$M = \frac{24 \text{ hod} \cdot \text{počet prac. dnů}}{\text{doba trvání 1 prac. cyklu}} \cdot z_{sk} = \frac{24 \cdot 22}{\left(\frac{614}{60}\right)} \cdot 1,5 \doteq 78 \text{ m}$$

Postup ražby bude asi 78 m měsíčně v plném profilu.

PASPORT TRHACÍCH PRACÍ

| | | | |
|-----|----------------------------------|----------------|----------------------------|
| 1. | PROFIL DÍLA | | Oblouk s rovnými stěnami |
| 2. | HRUBÝ PROFIL (F_{HR}) | m ² | 14,8 |
| 3. | VÝLOM | m ³ | 22,2 |
| 4. | TYP ZÁLOMU | | SBÍHAVÝ KLÍNOVÝ |
| 5. | ZABÍRKA | m | 1,5 |
| 6. | POČET VRTŮ | | 44 |
| 7. | PRŮMĚR VRTŮ | mm | 45 |
| 8. | CELKOVÁ DÉLKA VŠECH VÝVRTŮ | m | 67,1 |
| 9. | TYP TRHAVINY | | PERUNIT E |
| 10. | CELKOVÁ HMOTNOST TRHAVINY | kg | 62 |
| 11. | TYP ROZBUŠEK | | DeM+DeD, S |
| 12. | CELKOVÝ POČET ROZBUŠEK | ks | 44 |
| 13. | UCPÁVKA | | PÍSEK |
| 14. | TYP ROZNĚTU, ROZNĚTNICE, OHMMETR | | EL. , RKC-1, DO 200/2000.P |
| 15. | ZAPOJENÍ PŘI EL. ROZNĚTU | | SERIOVÉ |
| 16. | MANIPULAČNÍ A BEZPEČNOSTNÍ OKRUH | m | 10/120 |

| ČÍSLO VRTU | PRŮMĚR VRTU [mm] | DÉLKA VRTU [m] | ÚHEL K ČELBĚ [°] | TRHAVINA | ROZBUŠKY | PRŮMĚR NÁLOŽE [mm] | HMOTNOST TRHAVINY [kg/vrt] | ČASOVÝ STUPEŇ | ČAS ODSTŘELU OD POČÁTKU [MS] | DRUH VRTU |
|----------------|------------------|----------------|------------------|-----------|----------|--------------------|----------------------------|---------------|------------------------------|-------------|
| 1-8 | 45 | 1,925 | 65 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,1 | 1° | 25 | ZÁLOM |
| 9-12 16-19 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 2° | 50 | ROZŠÍŘOVACÍ |
| 13-15 21 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 3° | 75 | ROZŠÍŘOVACÍ |
| 20 22-24 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 4° | 100 | ROZŠÍŘOVACÍ |
| 25-29 | 45 | 1,667 | 75 | PERUNIT E | DeM , S | 60 | 2,8 | 5° | 125 | PŘIBÍRKA |
| 31-33 41-43 | 45 | 1,667 | 80 | PERUNIT E | DeD , S | 60 | 2,8 | 1° | 375 | OBRYSOVÝ |
| 30;44 | 45 | 1,667 | 85 | PERUNIT E | DeD , S | 60 | 2,8 | 2° | 625 | PATNÍ |
| 34-40 | 45 | 1,667 | 85 | PERUNIT E | DeD , S | 60 | 2,8 | 3° | 875 | STROPNÍ |

Celkový odpal 44 rozbušek a 118 kg výbušnin, bude trvat asi 875 ms.